

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Juni 2010 (10.06.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/063817 A2

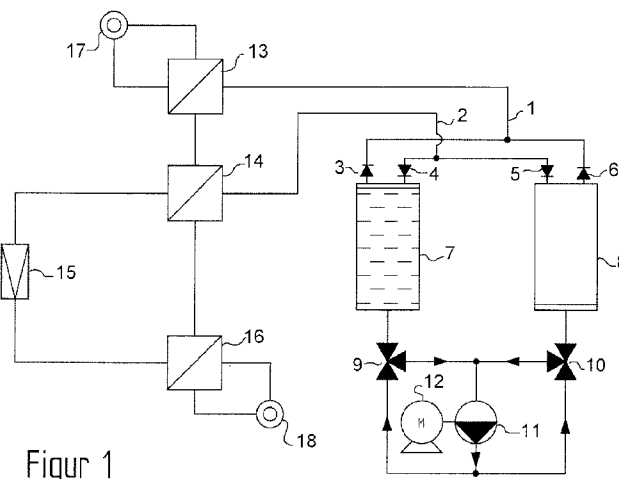
- (51) Internationale Patentklassifikation:
F25B 31/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/066385
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. Dezember 2009 (03.12.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 060 598.0
5. Dezember 2008 (05.12.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): THERMEA. ENERGIESYSTEME GMBH [DE/DE]; Poisantalstrasse 75, 01705 Freital (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GUDERAT, Andreas [DE/DE]; Erich-Barth-Straße 11, 01833 Stolpen (DE).
- (74) Anwälte: RIECHELMANN, Jens et al.; Wiener Straße 91, 01219 Dresden (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR COMPACTING OR COMPRESSING A GAS

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERDICHTUNG ODER KOMPRESSIION EINES GASES



Figur 1

(57) Abstract: The invention relates to a device for compressing or relieving a gaseous working medium using a hydraulic fluid, comprising a first adiabatic cylinder (8, 108) and a second adiabatic cylinder (7, 107) hydraulically connected to the first cylinder (8, 108) through a device for feeding (11) or discharging (111) energy, wherein (a) in a first state the gaseous working medium is located in the first adiabatic cylinder (8, 108) and the hydraulic fluid is located in the second adiabatic cylinder (7, 107); (b) in a first step the hydraulic fluid is led from the second adiabatic cylinder (7, 107) to the first adiabatic cylinder (8, 108), wherein the hydraulic fluid passes by the device for feeding (11) or discharging (111) energy; (c) in a second state the gaseous working medium is located in the second adiabatic cylinder (7, 107) and the hydraulic fluid is located in the first adiabatic cylinder (8, 108); (d) in a second step the hydraulic fluid is led from the first adiabatic cylinder (8, 108) to the second adiabatic cylinder (7, 107), wherein the hydraulic fluid passes by the device for feeding (11) or discharging (111) energy; and (e) the first step (b) is carried out when the second state is reached and then the second step (d) is carried out when the first state is reached, in repetitive fashion.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/063817 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verdichtung oder Entspannung eines gasförmigen Arbeitsmittels mittels einer Hydraulikflüssigkeit, umfassend einen ersten adiabaten Zylinder (8, 108) und einen zweiten adiabaten Zylinder (7, 107), der mit dem ersten Zylinder (8, 108) über eine Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie hydraulisch verbunden ist, wobei (a) sich in einem ersten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet; (b) in einem ersten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) in den ersten adiabaten Zylinder (8, 108) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert; (c) sich in einem zweiten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108), befindet; (d) in einem zweiten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) in den zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert; und (e) der erste Schritt (b) unter Erreichen des zweiten Zustandes und anschließend der zweite Schritt (d) unter Erreichen des ersten Zustandes wiederholt ausgeführt werden.

Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zur Verdichtung oder Kompression eines Gases

- 5 Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Verdichtung oder Kompression eines gasförmigen Arbeitsmittels. Sie betrifft ferner ein Verfahren zur Verdichtung oder Kompression eines gasförmigen Arbeitsmittels.

Die Kompression oder Expansion von Gasen hat in der Energiewirtschaft eine bereite
10 Anwendung gefunden. Beispielsweise wird die Expansion von Gasen in Verfahren zur Erzeugung von elektrischer oder mechanischer Energie aus anderen Energieformen wie beispielsweise Wärmeenergie verwendet. Bei sogenannten ORC-Prozessen (OCR = Organic Rankine Cycle), wird Wärmeenergie mittels eines gasförmigen oder
15 flüssigen Arbeitsmittels, mit Ausnahme von Wasser, in elektrische Energie umgewandelt.

Die Kompression von Gasen findet hingegen in Wärmepumpen Anwendung. In den Verdichtereinheiten der Wärmepumpen werden unter anderem Arbeitsmittel mit hohen Verdichtungsendrücken und/oder großen Druckverhältnissen eingesetzt. Derartige
20 Arbeitsmittel sind insbesondere Kohlendioxid oder Ammoniak. Ferner wird die Kompression von Gasen in einer Verdichtereinheit zur Energiespeicherung genutzt, wie dies beispielsweise in Druckluftspeichern der Fall ist. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Kompression von Gasen ist die isotherme Verdichtung, bei der Trennung oder Abfuhr der Kompressionswärme erforderlich ist. Überdies werden Gase komprimiert, bei denen eine Explosionsgefährdung besteht.
25

Zur Kompression von Gasen werden im Bereich von kleinen bis mittleren Leistungen vorwiegend Roll- und Hubkolbenverdichter eingesetzt, während im Bereich von mittleren bis großen Leistungen Schrauben- oder Turbomaschinen verwendet werden.
30

Bei der Expansion von Gasen werden – insbesondere für OCR-Prozesse – im mittleren Leistungsbereich vorwiegend Hub- oder Drehkolbenmotoren und im großen Lei-

stungsbereich Turbo- oder Schraubenverdichter eingesetzt. Hingegen sind im kleinen Leistungsbereich, kleiner 10 kW elektrisch, bisher keine wirtschaftlichen Anlagen gebaut worden, bei denen ein ORC-Prozeß angewendet werden konnte. Lediglich auf Basis des Stirlingmotors wurden sogenannte „Mini-Blockheizkraftwerke“ gebaut.

5

Die zur Kompression eingesetzten Vorrichtungen weisen jedoch gewisse Nachteile auf. Bei diesen Maschinen wird aufwendig mechanisch eine Volumenverdrängung durch Kolben erreicht, wozu oftmals der Einsatz von Schmieröl notwendig ist, um zum einen die Mechanik zu schonen und zum anderen eine bessere Dichtheit zwischen Kolben und Zylinderwand zu erreichen. Dies führt zu unnötigen Energieverlusten und Umweltbelastungen und macht solche Verdichter aufwendig und kostenintensiv. Selten erreichen diese Verdichterbauarten einen isentropen Wirkungsgrad von mehr als 75 %.

10

15 Eine Ausnahme stellen allerdings Membran- und Turboverdichter dar. Beim Membranverdichter wird eine Membran mechanisch oder hydraulisch angetrieben, welche dann die Volumenverdrängung des Gases hervorruft. Diese Verdichter benötigen kein Schmieröl zur Abdichtung und erreichen durchaus isentrope Wirkungsgrade von 90 %. Bei Turboverdichtern wird das zu komprimierende Gas durch ein Schaufelrad

20 beschleunigt und anschließend in einem Diffusor die kinetische Energie in Druck umgewandelt. Dabei kommt selten der Einsatz von Schmieröl vor. Allerdings benötigen die Schaufelräder sehr hohe Drehzahlen, um auf annehmbare Wirkungsgrade zu kommen. Ferner müssen große Volumenströme gefördert werden, was wiederum den Einsatz solcher Maschinen auf große Leistungen einschränkt.

20

25

Auch die zur Expansion von Gasen bisher verwendeten Vorrichtungen weisen verschiedene Nachteile auf. Die im kleinen Leistungsbereich eingesetzten Stirling-Blockheizkraftwerke haben zwar gute Wirkungsgrade, allerdings ist bei diesen Anlagen die Leistungsdichte gerade im Niedertemperaturbereich verhältnismäßig schlecht.

30

Aus diesem Grund sind derartige Anlagen oft groß und teuer, was sich wiederum negativ auf deren Wirtschaftlichkeit auswirkt. Bei ORC-Prozessen werden bedingt

durch die Turbo- bzw. Schraubenverdichter nur wirtschaftliche Anlagen im mittleren und großen Leistungsbereich betrieben. Dies gilt ebenso bei der Kompression.

Ein weiteres Problem ist die Verstromung von lokal anfallender Niedertemperaturwärme von Industriegebieten, aber auch die lokale Verstromung von Solarthermie an Neu- oder Bestandsanlagen. Nach dem Stand der Technik wird die anfallende Niedertemperaturwärme durch ORC-Prozesse oder Thermoelemente aufwendig und zum Teil unwirtschaftlich in elektrische Energie umgewandelt. Insbesondere die isentrope Entspannung bei ORC-Prozessen führt zur einer weiteren exergetischen Abwertung der Wärme. Eine Ausnahme stellen Stirlingmaschinen dar, die niedertemporierte Wärme technisch recht einfach in elektrische Energie umwandeln können. Allerdings benötigen diese große Arbeitsvolumina, um einigermaßen akzeptable Leistungen abzugeben. Dies führt jedoch dazu, dass thermodynamisch bedingt deren Wirkungsgrad stark abfällt.

Aus US 2,772,543 ist eine Vorrichtung bekannt, die ein Gas zur Kälteerzeugung von mobiler Kälte durch eine Hydraulikpumpe komprimiert. Nachteil dieser Vorrichtung ist die hydraulische Verschaltung, so dass die zyklische Kompression durch Umschalten der Strömungsrichtung an der Hydraulikpumpe erfolgt. Dadurch ergeben sich erhebliche Probleme im System. Durch Umschalten der Strömungsrichtung entsteht in Folge des Stillstandes der Pumpe eine Totzeit, in der kein Arbeitsmedium gefördert werden kann. Um dies zu kompensieren, müssen Komponenten wie beispielsweise Zylinder und Pumpe überdimensioniert werden. Weiterhin müssen große Gaspuffer in die Saug- bzw. Druckleitung eingebracht werden, um ein Pulsieren und starke Regelschwankungen an den Ventilen zu umgehen.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile nach dem Stand der Technik zu beseitigen. Es soll insbesondere eine Vorrichtung zur Kompression bzw. Expansion eines Gases angegeben werden, die einen hohen Wirkungsgrad aufweist, kostengünstig realisiert werden kann und eine wirtschaftlich Anwendung insbesondere bei ORC-Prozessen in Anlagen mit kleinen und mittleren Leistungen im Niedertemperaturbe-

reich ermöglicht. Ferner soll ein Verfahren zur Kompression bzw. Expansion eines Gases angegeben werden. Schließlich sollen ein Verfahren und ein System angegeben werden, dass die bisher unzureichende Umwandlung von Niedertemperaturwärme in elektrische oder mechanische Arbeit beseitigt.

5

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 8 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindungen ergeben sich aus den Merkmalen der Ansprüche 2 bis 7 und 9 bis 15.

10

Nach Maßgabe der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Verdichtung oder Entspannung eines gasförmigen Arbeitsmittels mittels einer Hydraulikflüssigkeit, umfassend einen ersten adiabaten Zylinder und einen zweiten adiabaten Zylinder, der mit dem ersten Zylinder über eine Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie hydraulisch verbunden ist, vorgesehen, wobei

15

(a) sich in einem ersten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem zweiten adiabaten Zylinder befindet;

20

(b) in einem ersten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie passiert;

25

(c) sich in einem zweiten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem ersten adiabaten Zylinder befindet;

30

(d) in einem zweiten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie passiert; und

(e) der erste Schritt (b) unter Erreichen des zweiten Zustandes und anschließend der zweite Schritt (d) unter Erreichen des ersten Zustandes wiederholt ausgeführt werden.

5 Die Vorrichtung weist vorzugsweise zumindest ein Dreiwegeventil auf, das in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet ist. Mittels des zumindest einen Dreiwegeventils kann die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit bestimmt werden. Besonders bevorzugt sind zwei Dreiwegeventile vorgesehen, die in der hydraulischen Verbindung
10 zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet sind.

Durch die Einbringung von Dreiwegeventilen ist eine Umschaltung der Strömungsrichtung an der Pumpe nicht erforderlich. Damit werden ein Stillstand der Pumpe und
15 damit eine Totzeit, in der kein Arbeitsmedium gefördert werden kann, vermieden. Im Vergleich zu US 2,772,543 können die Zylinder wesentlich kleiner dimensioniert werden, da eine kontinuierliche Kompression des Gases stattfindet und somit eine fortwährende Leistungsabgabe der Pumpe gewährt ist. Infolge dessen treten weit weniger starke Massestromschwankungen auf. Daraus ergeben sich wesentlich größere
20 technische Möglichkeiten. Demnach ist die Erfindung aus technischer sowie wirtschaftlicher Sichtweise der Vorrichtung aus US 2,772,543 überlegen.

Die Erfindung beruht auf der Expansion oder Kompression von Gasen durch Volumenverdrängung mit Hilfe einer Hydraulikflüssigkeit, die im Falle der Kompression
25 durch eine Hydraulikpumpe eine Energiezufuhr infolge einer Druckerhöhung oder im Fall der Expansion durch einen Hydraulikmotor eine Energieabfuhr infolge einer Druckabsenkung erfährt.

Das gasförmige Arbeitsmittel ist vorzugsweise ein technisches Gas, beispielsweise
30 Kohlendioxid, Sauerstoff, Luft, Stickstoff, Argon, Ammoniak, Helium, Propan, Wasserstoff und/oder Distickstoffmonoxid. Bevorzugte gasförmige Arbeitsmittel sind

Sauerstoff, Luft, Stickstoff und Kohlendioxid. Ein besonders bevorzugtes gasförmiges Arbeitsmittel ist Kohlendioxid. Das gasförmige Arbeitsmittel wird im folgenden auch als Gas bezeichnet.

- 5 Die Hydraulikflüssigkeit ist vorzugsweise Wasser. Der erste und zweite Zylinder haben vorzugsweise gleiche Innenvolumina.

Es kann vorgesehen sein, daß in den adiabaten Zylindern die Hydraulikflüssigkeit und das gasförmige Arbeitsmittel voneinander getrennt sind, um das Lösen des gasförmigen Arbeitsmittels in der Hydraulikflüssigkeit zu verhindern. Für diese Trennung
10 kann in den Zylindern jeweils ein Trennelement, beispielsweise ein Kolben oder eine Membran, vorgesehen sein. Das Trennelement, das das gasförmige Arbeitsmittel vollständig von der Hydraulikflüssigkeit trennt, ist in dem Zylinder entlang der Längsachse beweglich, so daß sich dessen Position in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen
15 im Zylinder verändern kann.

Unter einem adiabaten Zylinder wird hier ein Zylinder verstanden, der keinen oder einen möglichst geringen Wärmeaustausch mit der Umgebung aufweist. Dies kann durch eine Isolierung der Zylinder erreicht werden. In den Zylindern kann die Arbeitstemperatur durch Einbringung von Wärmeübertragern begrenzt werden.
20

Unter einem der Zylinder ist nicht zwingend ein geometrischer Zylinder zu verstehen. Vielmehr kann es sich bei einem Zylinder auch um einen Behälter mit beliebiger Form handeln, solange er die Hydraulikflüssigkeit und/oder das gasförmige Arbeitsmittel aufnehmen kann.
25

Die Begriffe „Kompression“ und „Verdichtung“ werden hier synonym verwendet. Ebenso werden die Begriffe „Expansion“ und „Entspannung“ synonym verwendet.

- 30 Unter einem vollständig gefüllten Zylinder wird ein Zylinder verstanden, der entweder vollständig oder zumindest zu 98 % mit dem gasförmigen Arbeitsmittel oder der

Hydraulikflüssigkeit bei einer vorgegebenen Temperatur und einem vorgegebenen Druck gefüllt ist.

Die Vorrichtung weist einen vergleichsweise einfachen Aufbau auf, da alle verwendeten Komponenten Massenartikel und demnach kostengünstig beschaffbar sind. Ferner ist ein einfacher Umbau von der Vorrichtung zur Expansion eines Gases (= Expansionsmaschine) zur Vorrichtung zur Verdichtung eines Gases (= Kompressionsmaschine) oder umgekehrt möglich.

10 Bei Anwendung von Wasserhydraulik wird eine Belastung durch Öl oder andere Schmier- und Arbeitstoffe vermieden. Mittels der Dimensionierung der beiden Zylinder sind unter Beachtung der Arbeitspunkte von Hydraulikpumpe bzw. Hydraulikmotor beliebige Druckverhältnisse wählbar. Es werden sehr gute maschinelle Wirkungsgrade von 90 bis 95 % erreicht.

15

Die Erfindung ermöglicht erstmals eine wirtschaftliche Anwendung der Expansion von Gasen bei ORC-Prozessen mit kleiner und mittlerer Leistung im Niedertemperaturbereich (≥ 200 °C) bei Verwendung von Kohlendioxid (R744) als Arbeitsmittel. Unter kleiner Leistung werden hier ≤ 50 kW elektrisch, unter mittlerer Leistung :

20 $51 \text{ kW} \geq \text{Leistung elektrisch} \leq 500 \text{ kW}$ verstanden.

Vorrichtung zur Verdichtung eines Gases (Kompressionsmaschine)

In einer Ausführungsform ist die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Verdichtung des gasförmigen Arbeitsmittels gerichtet, bei der

25

- der erste adiabate Zylinder über ein erstes Ventil mit einer ersten Leitung verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder strömen kann (die erste Leitung wird im Zusammenhang mit der Verdichtung eines

30 Gases auch als Druckleitung bezeichnet);

- der erste adiabate Zylinder über ein zweites Ventil mit einer zweiten Leitung verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder strömen kann (die zweite Leitung wird im Zusammenhang mit der Verdichtung eines Gases auch als Saugleitung bezeichnet);

5

- der zweite adiabate Zylinder über ein drittes Ventil mit der ersten Leitung (Druckleitung) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7) strömen kann;

10 - der zweite adiabate Zylinder über ein viertes Ventil mit der zweiten Leitung (Saugleitung) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

15 - die Einrichtung zur Zufuhr von Energie eine Hydraulikpumpe ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, die die Hydraulikpumpe passiert, erhöht;

wobei

20 - in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand das erste, zweite, dritte und vierte Ventil der beiden Zylinder geschlossen ist;

- in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8) auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das erste Ventil öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (Druckleitung) strömt; und (ii) der Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder erreicht ist, das vierte Ventil öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus der zweiten Leitung (Saugleitung) in den zweiten adiabaten Zylinder strömt; und

25

30

- in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das dritte Ventil öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (Druckleitung) strömt; und (ii) der Druck in dem ersten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem ersten adiabaten Zylinder erreicht ist, das zweite Ventil öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus der zweiten Leitung (Saugleitung) in den ersten adiabaten Zylinder strömt.

Die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit wird zweckmäßigerweise über zwei Dreiwegeventile bestimmt, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet sind. Die beiden Dreiwegeventile werden gleichzeitig umgeschaltet, um die Strömungsrichtung zu ändern.

Das erste, zweite, dritte und vierte Ventil sind zweckmäßigerweise Rückschlagventile.

Die Steuerung des ersten, zweiten, dritten und vierten Ventils und der Dreiwegeventile kann über eine Steuereinheit erfolgen.

Vorzugsweise ist die erste Leitung (Druckleitung), in der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über ein Expansionsventil mit der zweiten Leitung (2) verbunden, in dem das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel entspannt wird, so daß das Arbeitsmittel im Kreislauf geführt wird.

In einer Ausführungsform kann zumindest einem, vorzugsweise beiden Zylindern der Vorrichtung zum Verdichten eines Gases jeweils ein Wärmetauscher zugeordnet sein. Diese Ausführungsform ermöglicht eine isotherme Verdichtung des Gases. Die Hy-

draulikflüssigkeit, die aus einem Zylinder in den anderen Zylinder strömt, passiert den Wärmetauscher und wird dort abgekühlt. Anschließend wird sie über eine Düse in den Zylinder geleitet und dort versprüht. Auf diese Weise kann die Hydraulikflüssigkeit die bei der Verdichtung des Gases entstehende Kompressionswärme aufnehmen. Dabei erwärmt sich die Hydraulikflüssigkeit nur geringfügig. Das Gas nimmt lediglich den Anteil an Druckenergie auf und speichert diesen. Es nimmt nur einen geringen Teil der Kompressionswärme auf. Nach der Umschaltung der Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit passiert die Hydraulikflüssigkeit auf dem Weg von dem einen Zylinder zu dem anderen Zylinder erneut einen Wärmetauscher, in dem der Hydraulikflüssigkeit die Kompressionswärme wieder entzogen wird.

Vorrichtung zur Entspannung eines Gases (Expansionsmaschine)

In einer Ausführungsform ist die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Entspannung des gasförmigen Arbeitsmittels gerichtet, bei der

- der erste adiabate Zylinder über ein erstes Ventil und ein erstes Dreiwegeventil mit einer ersten Leitung verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den erste adiabaten Zylinder strömen kann;
- der erste adiabate Zylinder über ein zweites Ventil und ein zweites Dreiwegeventil mit einer zweiten Leitung verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittels aus dem ersten adiabaten Zylinder strömen kann;
- der zweite adiabate Zylinder über ein drittes Ventil und das erste Dreiwegeventil mit der ersten Leitung verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;
- der zweite adiabate Zylinder über ein viertes Ventil und das zweite Dreiwegeventil mit der zweiten Leitung verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

- die Einrichtung zur Abfuhr von Energie ein Hydraulikmotor ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, der den Hydraulikmotor passiert, verringert;

5 wobei

- in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand das erste, zweite, dritte und vierte Ventil der beiden Zylinder geschlossen ist;

10 - in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) über das geöffnete dritte Ventil verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus der ersten Leitung in den zweiten adiabaten Zylinder strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder verdrängt wird und in den ersten adiabaten Zylinder strömt; und (ii) ent-
15 spanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder über das geöffnete zweite Ventil in die zweite Leitung strömt;

- in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) über das geöffnete erste
20 Ventil verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder verdrängt wird und in den zweiten adiabaten Zylinder strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder über das geöffnete vierte Ventil in die zweite Leitung strömt.

25

Zweckmäßigerweise wird die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über zwei Dreiweventile bestimmt, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet sind. Die Strömung des verdichteten gasförmigen Arbeitsmittels aus der ersten Leitung zum ersten
30 adiabaten Zylinder oder zum zweiten adiabaten Zylinder wird durch das erste Dreiweventil bestimmt. Die Strömung des entspannten gasförmigen Arbeitsmittels aus

dem ersten adiabaten Zylinder oder dem zweiten adiabaten Zylinder in die zweite Leitung wird durch das zweite Dreiwegeventil bestimmt. Diese vier Dreiwegeventile werden vorzugsweise synchron geschaltet, so daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit sowie die Zufuhr von verdichtetem Arbeitsmittel und die Abfuhr von entspanntem Arbeitsmittel gleichzeitig geändert werden.

Das erste, zweite, dritte und vierte Ventil sind zweckmäßigerweise Rückschlagventile.

Die Steuerung des ersten, zweiten, dritten und vierten Ventils und der Dreiwegeventile kann über eine Steuereinheit erfolgen.

Vorzugsweise ist die zweite Leitung, in der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über eine Hydraulikpumpe mit der ersten Leitung verbunden, in dem das entspannte gasförmige Arbeitsmittel verdichtet wird, so daß das gasförmige Arbeitsmittel im Kreislauf geführt wird.

Nach Maßgabe der Erfindung ist ferner ein Verfahren zur Verdichtung oder Entspannung eines gasförmigen Arbeitsmittels mittels einer Hydraulikflüssigkeit in einer Vorrichtung, umfassend einen ersten adiabaten Zylinder und einen zweiten adiabaten Zylinder, der mit dem ersten Zylinder über eine Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie hydraulisch verbunden ist, vorgesehen, wobei

(a) sich in einem ersten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem zweiten adiabaten Zylinder befindet;

(b) in einem ersten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie passiert;

(c) sich in einem zweiten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem ersten adiabaten Zylinder befindet;

5 (d) in einem zweiten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr oder Abfuhr von Energie passiert; und

(e) der erste Schritt (b) unter Erreichen des zweiten Zustandes und anschließend der
10 zweite Schritt (d) unter Erreichen des ersten Zustandes wiederholt ausgeführt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgeführt.

15 *Verfahren zur Verdichtung eines Gases mittels einer Kompressionsmaschine*

In einer Ausführungsform ist die Erfindung auf ein Verfahren zur Verdichtung des gasförmigen Arbeitsmittels gerichtet, bei dem

- der erste adiabate Zylinder über ein erstes Ventil mit einer ersten Leitung (Drucklei-
20 tung) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder strömen kann;

- der erste adiabate Zylinder über ein zweites Ventil mit einer zweiten Leitung (Saugleitung) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den er-
25 sten adiabaten Zylinder strömen kann;

- der zweite adiabate Zylinder über ein drittes Ventil mit der ersten Leitung (Druckleitung) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

- der zweite adiabate Zylinder über ein viertes Ventil mit der zweiten Leitung (Saugleitung) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

- 5 - die Einrichtung zur Zufuhr von Energie eine Hydraulikpumpe ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, die die Hydraulikpumpe passiert, erhöht;

wobei

- 10 - in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand das erste, zweite, dritte und vierte Ventil der beiden Zylinder geschlossen ist;

- in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das erste Ventil öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung strömt; und (ii) der Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder erreicht ist, das vierte Ventil öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömt; und

- in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das dritte Ventil öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (Druckleitung) strömt; und (ii) der Druck in dem ersten adiabaten Zylinder auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem ersten adiabaten Zylinder erreicht ist, das zweite Ventil öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder strömt.

Die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit wird zweckmäßigerweise über zwei Dreiwegeventile bestimmt, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet sind. Die beiden
5 Dreiwegeventile werden gleichzeitig umgeschaltet, um die Strömungsrichtung zu ändern.

Das erste, zweite, dritte und vierte Ventil sind zweckmäßigerweise Rückschlagventile.

10 Die Steuerung des ersten, zweiten, dritten und vierten Ventils und der Dreiwegeventile kann über eine Steuereinheit erfolgen.

Vorzugsweise ist die erste Leitung (Druckleitung), in der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über ein Expansionsventil mit der zweiten Leitung (2) verbunden, in dem das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel entspannt wird, so daß das Arbeitsmittel im Kreislauf geführt wird.
15

Das Verfahren zur Verdichtung des gasförmigen Arbeitsmittels wird nachfolgend ausführlicher beschrieben:

20

Das gasförmige Arbeitsmittel, welches den ersten adiabaten Zylinder vollständig füllt, wird durch eine Hydraulikflüssigkeit komprimiert, bis sich ein gewünschter Druck aufbaut. Gleichzeitig wird aus dem zweiten adiabaten Zylinder, welcher hydraulisch mit dem ersten adiabaten Zylinder verbunden ist, die Hydraulikflüssigkeit
25 entnommen. Dadurch sinkt der Druck im zweiten adiabaten Zylinder auf einen gewünschten Wert. Ist dieser erreicht, öffnet sich das zweite Rückschlagventil und läßt Gas aus einer Saugleitung in den zweiten Zylinder einströmen. Die entnommene Hydraulikflüssigkeit fließt durch Leitungen zu einer Hydraulikpumpe, erfährt dort durch Energiezufuhr eine Druckerhöhung und wird anschließend dem ersten Zylinder wieder
30 zugeführt.

Ist im ersten Zylinder der gewünschte Druck erreicht, öffnet sich das dritte Rückschlagventil und läßt das komprimierte Gas isobar in eine Druckleitung entweichen. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, stellen die beiden 3-Wege-Ventile die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit nun so um, das nun aus dem vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllten ersten Zylinder die Hydraulikflüssigkeit entnommen wird,
5 über die Hydraulikpumpe fließt und in den zweiten Zylinder einströmt.

Das in den zweiten Zylinder zuvor eingeströmte Gas aus der Saugleitung wird im zweiten Zylinder nun durch die Hydraulikflüssigkeit komprimiert. Dabei schließt sich
10 das zweite Rückschlagventil an der Saugleitung. Wenn wieder ein gewünschter Druck erreicht ist, öffnet sich das erste Rückschlagventil am zweiten Zylinder und läßt das komprimierte Gas wiederum isobar entweichen. Gleichzeitig sinkt im ersten Zylinder, welchem die Hydraulikflüssigkeit entnommen wird, der Druck, bis sich ein viertes Rückschlagventil an der Saugleitung öffnet und Gas in den ersten Zylinder einströmen
15 läßt.

Ist der zweite Zylinder vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt, stellen wieder die beiden 3-Wege-Ventile die Strömungsrichtung um, so daß nun wieder die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten Zylinder entnommen wird und in den ersten Zylinder
20 einströmt. Damit schließt sich der Zyklus und eine fortwährende Komprimierung eines Gases ist damit gewährleistet.

In einer Ausführungsform ist zumindest einem, vorzugsweise beiden Zylindern der Vorrichtung zum Verdichten eines Gases jeweils ein Wärmetauscher zugeordnet. Diese Ausführungsform ermöglicht eine isotherme Verdichtung des Gases. Die Hydraulikflüssigkeit, die in aus einem Zylinder in den anderen Zylinder strömt, passiert den
25 Wärmetauscher und wird dort abgekühlt. Anschließend wird sie über Düse in den Zylinder geleitet und dort versprüht. Auf diese Weise kann die Hydraulikflüssigkeit die bei der Verdichtung des Gases entstehende Kompressionswärme aufnehmen. Dabei erwärmt sich die Hydraulikflüssigkeit nur geringfügig. Das Gas nimmt lediglich den
30 Anteil an Druckenergie auf und speichert diesen. Es nimmt nur einen geringen Teil

der Kompressionswärme auf. Nach der Umschaltung der Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit passiert die Hydraulikflüssigkeit auf dem Weg von dem einen Zylinder zu dem anderen Zylinder erneut einen Wärmetauscher, in dem der Hydraulikflüssigkeit die Kompressionswärme wieder entzogen wird.

5

Verfahren zur Entspannung eines Gases (Expansionsmaschine)

In einer Ausführungsform ist die Erfindung auf ein Verfahren zur Entspannung des gasförmigen Arbeitsmittels gerichtet, bei dem

10

- der erste adiabate Zylinder über ein erstes Ventil und ein erstes Dreiwegeventil mit einer ersten Leitung verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den erste adiabaten Zylinder strömen kann;

15

- der erste adiabate Zylinder über ein zweites Ventil und ein zweites Dreiwegeventil mit einer zweiten Leitung verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder strömen kann;

20

- der zweite adiabate Zylinder über ein drittes Ventil und das erste Dreiwegeventil mit der ersten Leitung verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

25

- der zweite adiabate Zylinder über ein viertes Ventil und das zweite Dreiwegeventil mit der zweiten Leitung verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder strömen kann;

- die Einrichtung zur Abfuhr von Energie ein Hydraulikmotor ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, der den Hydraulikmotor passiert, verringert;

30

wobei

- in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand das erste, zweite, dritte und vierte Ventil der beiden Zylinder geschlossen ist;
 - in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder in den ersten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) über das geöffnete dritte Ventil verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus der ersten Leitung in den zweiten adiabaten Zylinder strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder verdrängt wird und in den ersten adiabaten Zylinder strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder über das geöffnete zweite Ventil in die zweite Leitung strömt;
 - in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder in den zweiten adiabaten Zylinder geführt wird, (i) über das geöffnete erste Ventil verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder verdrängt wird und in den zweiten adiabaten Zylinder strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder über das geöffnete vierte Ventil in die zweite Leitung strömt.
- Zweckmäßigerweise wird die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über zwei Dreiwegeventile bestimmt, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet sind. Die Strömung des verdichteten gasförmigen Arbeitsmittels aus der ersten Leitung zum ersten adiabaten Zylinder oder zum zweiten adiabaten Zylinder wird durch das erste Dreiwegeventil bestimmt. Die Strömung des entspannten gasförmigen Arbeitsmittels aus dem ersten adiabaten Zylinder oder dem zweiten adiabaten Zylinder in die zweite Leitung wird durch das zweite Dreiwegeventil bestimmt. Diese vier Dreiwegeventile werden vorzugsweise synchron geschaltet, so daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit sowie die Zufuhr von verdichtetem Arbeitsmittel und die Abfuhr von entspanntem Arbeitsmittel gleichzeitig geändert werden.

Das ersten, zweiten, dritten und vierten Ventil sind zweckmäßigerweise Rückschlagventile.

Die Steuerung des erste, zweite, dritte und vierte Ventils und der Dreiwegeventile
5 kann über eine Steuereinheit erfolgen.

Vorzugsweise ist die zweite Leitung, in der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über eine Hydraulikpumpe mit der ersten Leitung verbunden, in dem das entspannte gasförmige Arbeitsmittel verdichtet wird, so daß das gasförmige Arbeitsmittel
10 im Kreislauf geführt wird.

Nach Maßgabe der Erfindung sind ferner ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Umwandeln von Niedertemperaturwärme aus industriellen Abwärmequellen, aber auch Niedertemperatur aus Solarthermie und Geothermie vorgesehen. Die Vorrichtung besteht aus zumindest zwei Behältern, die mit einem Fluid gefüllt und hydraulisch durch eine Kraftmaschine verbunden sind. Die Vorrichtung wird durch abwechselnd zyklische Be- und Entladung der Behälter mit Niedertemperaturwärme und Umgebungswärme betrieben. Auf diese Weise wird die Umwandlung von Niedertemperaturwärme in elektrische oder mechanische Arbeit verbessert. Das erfindungsgemäße Verfahren ist wirtschaftlich vorteilhaft. Die dazu benötigte Vorrichtung benötigt
15
20 nur wenig Platz.

Im Zyklus der Beladung des ersten Behälters kommt es zur Drucksteigerung in Folge der Durchleitung von Niedertemperaturwärme durch einen integrierten Wärmeübertrager. Durch Schließen eines zwischen dem ersten Behälter und der Kraftmaschine angebrachten Ventils kommt es zur isochoren Zustandsänderung des Fluides, bis sich ein Sättigungsdruck einstellt. Währenddessen findet im zweiten Behälter eine Druckabsenkung des Fluides in Folge der Durchleitung von Umgebungswärme durch einen integrierten Wärmeübertrager statt. Dieser aufgebaute Druckunterschied wird in einer Arbeitsmaschine, welche hydraulisch zwischen den beiden Behältern zweckmäßig
25
30 angebracht ist, abgebaut und in elektrische oder mechanische Energie umgewandelt.

Durch Umschaltung durchströmt im zweiten Schritt nun die Umgebungstemperatur den ersten Behälter, was zur Druckabsenkung führt, während im zweiten Behälter eine Drucksteigerung durch Zufuhr von Niedertemperaturwärme stattfindet. Dieser Druckunterschied wird wiederum in der Kraftmaschine abgebaut und in elektrische oder mechanische Energie umgewandelt, bevor durch Umschaltung erneut eine Drucksteigerung im ersten Behälter bzw. eine Druckabsenkung im zweiten Behälter stattfindet.

10 Es ist weiterhin erfindungsgemäß vorgesehen, dass Kohlendioxid oder ein anderes Arbeitsmittel mit hohem kritischem Druck und einer kritischen Temperatur nahe der zur Verfügung stehenden Temperaturen der Wärmequelle sowie der Wärmesenke Verwendung findet.

15 Der wirtschaftliche Vorteil der Erfindung begründet sich in der damit gegebenen hohen exergetischen Ausbeute der zugeführten Wärme und deren Umwandlung in die höchste qualitative Form von Energie, nämlich Elektroenergie. Des Weiteren trägt diese insbesondere bei Nutzung von Industrieabwärme zur Senkung der vorhandenen Rückkühlkosten bei. Weiterhin ist es mit dieser Erfindung möglich, bislang ungenutzte Wärmequellen zu erschließen und zur Gewinnung von elektrischer Energie heranzuziehen. Das Verfahren und die Vorrichtung sind daher insbesondere für die Verstromung von lokal anfallender Niedertemperaturwärme von Industriegebieten, aber auch die lokale Verstromung von Solarthermie an Neu- oder Bestandsanlagen geeignet.

25

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen, die die Erfindung nicht einschränken sollen, unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen

30

- Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Kompression eines Gases;
- Fig. 2a eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Expansion eines Gases;
- Fig. 2b eine veränderte zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung zur Expansion eines Gases;
- Fig. 3 eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung zur isothermen Kompression eines Gases;
- Fig. 4 eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung zur isothermen Entspannung eines Gases; und
- Fig. 5 eine Anordnung gemäß einem Aspekt der Erfindung zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in elektrische Energie.

Beispiel 1

- Die in Fig. 1 gezeigte Anordnung zur Kompression eines Gases ist ein Verdichter einer Wärmepumpe mit dem Kältemittel Kohlendioxid (R744, CO₂) und einer hydraulischen Axialkolbenpumpe (hergestellt von der Fa. Danfoss, DE), welche als Hydraulikflüssigkeit (Hf) Wasser verwendet. Der erste Zylinder und der zweite Zylinder haben das gleiche Innenvolumen. Die Rückschlagventile öffnen oder schließen, wenn eine Druckdifferenz zwischen den Komponenten besteht, zwischen denen sie eingebaut sind. Bei Strömungswechsel, infolge der beiden 3-Wege-Ventile, schließen die Rückschlagventile, da die Druckdifferenz zusammenbricht.

Zustand vor Schritt 1a und 1b

Vor den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit Wasser gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit CO₂ gefüllt ist. Die Rückschlagventile 3, 4, 5 und 6 sind geschlossen.

5 *Schritt 1a*

In einen vollständig mit CO₂ gefüllten ersten Zylinder 8 strömt Hydraulikflüssigkeit ein und komprimiert das dort befindliche CO₂, bis sich ein Druck von 95 bar aufbaut. Dabei erhöht sich die Temperatur des CO₂ von anfangs 30 °C auf 113 °C. Sobald der Druck von 95 bar im ersten Zylinder 8 erreicht ist, öffnet sich das dritte Rückschlagventil (Rv) 6 und läßt das CO₂ isobar in die Druckleitung (DI) 1 entweichen, dabei baut sich ein Druck von ca. 95 bar in der Druckleitung 1 auf.

Schritt 1b

Gleichzeitig mit Schritt 1a wird dem zweiten Zylinder 7 die benötigte Hydraulikflüssigkeit entnommen, durch das 3-Wegeventil 9 geleitet und der Hydraulikpumpe (Hp) 11 zugeführt. Die Hydraulikpumpe 11 pumpt das Wasser auf einen Druck von 95 bar und läßt es über das 3-Wegeventil 10 in den ersten Zylinder 8 einströmen. Die dazu benötigte elektrische Leistung von 4,8 kW bekommt die Hydraulikpumpe 11 von einem Elektromotor 12. Während der Entnahme der Hydraulikflüssigkeit sinkt der Druck in dem zweiten Zylinder 7 auf 37,7 bar. Sobald der Druck von 37,7 bar im zweiten Zylinder 7 erreicht ist, öffnet sich das zweite Rückschlagventil 4 und läßt CO₂ aus der Saugleitung (SI) 2 in den ersten Zylinder 7 einströmen.

Zustand nach Schritt 1a und 1b

25 Nach den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit CO₂ gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit Wasser gefüllt ist. Die Rückschlagventile 3, 4, 5 und 6 sind geschlossen.

Schritt 2a

30 In diesen Zustand ändern nun die beiden 3-Wegeventile 9 und 10 die Strömungsrichtung des Wassers; dabei schließen die Rückschlagventile 4 und 6, so daß nun das

Wasser aus dem ersten Zylinder 8 über das 3-Wegeventil 10 durch die Hydraulikpumpe 11 strömt. In der Hydraulikpumpe 11 erfährt das Wasser eine Druckerhöhung von 37,7 bar auf 95 bar. Danach wird das Wasser durch das 3-Wegeventil 9 in den zweiten Zylinder 7 geleitet und komprimiert dort das CO₂ von 37,7 auf 95 bar, wobei das CO₂ seine Temperatur von 30 °C auf 113 °C ändert. Sobald der Druck von 95 bar im zweiten Zylinder 7 erreicht ist, öffnet sich das erste Rückschlagventil 3 und läßt wiederum das CO₂ isobar in die Druckleitung 1 entweichen.

Schritt 2b

10 Gleichzeitig mit Schritt 2a fällt im ersten Zylinder 8 hingegen der Druck. Sobald der Druck im zweiten Zylinder 37,7 bar erreicht hat, öffnet sich das vierte Rückschlagventil 5 und läßt CO₂ aus der Saugleitung 2 in den Zylinder 8 einströmen. Sobald der zweite Zylinder 7 vollständig mit CO₂ gefüllt, ändern die beiden 3-Wegeventile 9 und 10 die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit, so daß nun das Wasser vom zweiten Zylinder 7 über die Hydraulikpumpe 11 zu dem ersten Zylinder 8 strömt.

Zustand nach Schritt 2a und 2b

Nach den Schritten 2a und 2b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit Wasser gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit CO₂ gefüllt ist. Dieser Zustand entspricht somit dem Zustand vor den Schritten 1a und 1b. Die Rückschlagventile 3, 4, 5 und 6 sind geschlossen. Damit ist der Zyklus geschlossen und eine fortwährende Komprimierung des CO₂ gewährleistet.

Abkühlung und Entspannung des CO₂

25 Das in den Schritten 1a und 2a in Druckleitung 1 abgegebene, erhitzte CO₂ wird in der Druckleitung 1 zu einem Gaskühler 13 geleitet und dort im Gegenstromprinzip mit Wasser auf 32 °C gekühlt. Dabei erwärmt sich das Wasser und nimmt ca. 21 kW aus dem CO₂ auf. Anschließend kann das Wasser einem Verbraucher 17 (beispielsweise einer Gebäudeheizung) zur Verfügung gestellt werden.

Nachdem das CO₂ im Gaskühler 13 21 kW an Wärmeleistung abgegeben hat, wird es von der Druckleitung 1 zum inneren Wärmeübertrager 14 geleitet. Dort erwärmt es im Gegenstrom das CO₂ aus der Saugleitung 2, wobei sich das CO₂ in der Druckleitung 1 von 32 °C auf 20,7 °C abkühlt. Anschließend gelangt das CO₂ in der Druckleitung 1 zum Expansionsventil 15. Mittels des Expansionsventil 15 wird das CO₂ in der Druckleitung 1 isenthalp von 95 bar auf 37,7 bar ins Zweiphasengebiet entspannt. Dabei gelangt das CO₂ in Saugleitung 2.

Verdampfen und Erwärmen des CO₂

- 10 In Saugleitung 2 wird das CO₂ einem Verdampfer 16 zugeführt. Dieser entnimmt einem Brunnen 18 Wasser. Mit diesem Wasser wird das CO₂ bei 3 °C, wiederum im Gegenstromprinzip, verdampft und auf 6 °C überhitzt, wobei das CO₂ 16,1 kW aus dem Brunnenwasser an Wärmeleistung aufnimmt.
- 15 Nachdem das CO₂ vollständig im Verdampfer 16 verdampft ist, wird es von der Saugleitung 2 zum inneren Wärmeübertrager 14 geleitet und dort von 6 °C auf 30 °C erwärmt und steht danach dem Hydraulikverdichter zur Verfügung.

Leistungszahlen

- 20 Mit dieser Wärmepumpe lassen sich Wärmepumpenleistungszahlen von 4,3 realisieren ($21 \text{ kW} / 4,8 \text{ kW} = 4,3$). Dies steht im Gegensatz zum Stand der Technik, welcher unter gleichen Bedingungen lediglich eine Leistungszahl von ca. 3,5 erreicht. Des Weiteren kann vollständig auf den Einsatz von Schmieröl verzichtet werden.

25

Beispiel 2

- Die in Fig. 2a-b gezeigte Anordnung zur Expansion eines Gases ist eine Expansionsmaschine eines ORC-Prozesses mit dem Arbeitsmittel Kohlendioxid und einem hydraulischen Axialkolbenmotor (Hersteller: Fa. Danfoss, DE), welcher als Hydraulikflüssigkeit Wasser verwendet.
- 30

Die in Fig. 2a gezeigte Anordnung entspricht im Wesentlichen der in Fig. 1 gezeigten Anordnung, außer daß die Rückschlagventile 103, 104, 105 und 106 an den Zylindern 107, 108 im Vergleich zu den Rückschlagventilen 3, 4, 5 und 6 an den Zylindern 7, 8 in ihrer Strömungsrichtung getauscht werden und die Hydraulikpumpe 11 durch einen Hydraulikmotor (Hm) 111 ersetzt wird. Zusätzlich müssen noch die beiden 3-Wege-Ventile 119 und 120 jeweils in die Leitungen 101 und 102 eingebaut werden.

Die Rückschlagventile öffnen oder schließen nur, wenn eine Druckdifferenz zwischen den Komponenten besteht, zwischen denen sie eingebaut sind. Bei Strömungswechsel, infolge der beiden 3-Wege-Ventile, schließen die Rückschlagventile, da die Druckdifferenz zusammenbricht.

Erwärmung und Kompression von CO₂

In einer Hydraulikpumpe 15 wird flüssiges CO₂ von 60 bar auf 100 bar komprimiert. Dabei erwärmt sich das CO₂ von 19 °C auf 26 °C und nimmt eine Leistung von 4,5 kW von der Hydraulikpumpe 15, welche mit einem Wirkungsgrad von 95 % arbeitet, auf.

Anschließend wird das CO₂ in Leitung 101 zu einem Wärmetauscher 117 geführt und dort im Gegenstrom von Wasser auf 60 °C erwärmt und verdampft. Dabei entzieht das CO₂ dem Wasser 157 kW an Wärmeleistung. Das Wasser stammt aus einer industriellen Abwärmequelle 118.

Zustand vor Schritt 1a und 1b

Vor den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit Wasser gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit CO₂ gefüllt ist. Die Rückschlagventile 103, 104, 105 und 106 sind geschlossen.

Schritt 1a

Vom Wärmeaustauscher 117 gelangt das CO₂ in Leitung 101 über das 3-Wege-Ventil 20 und das geöffnete Rückschlagventil 103 zum zweiten Zylinder 107. Der zweite

Zylinder 107 ist nahezu vollständig mit Wasser gefüllt. Das dort nun eindringende CO₂ verdrängt das Wasser mit 100 bar. Dieses Wasser wird nun über das 3-Wege-Ventil 109 zum Hydraulikmotor 111 geleitet, dort auf 60 bar entspannt und zum ersten Zylinder 108 über das 3-Wegeventil 110 geleitet (siehe Schritt 1b). Bei der Entspannung gibt der Hydraulikmotor 111 14,9 kW Wellenleistung an den Generator 112 ab. Der Generator 112 wandelt dann die Wellenleistung in elektrische Leistung um. Dabei werden 14,2 kW elektrische Leistung einem Verbraucher zur Verfügung gestellt. Der Wirkungsgrad des Hydraulikmotors 111 beträgt dabei 92 % und der des Generator 95 %.

10

Schritt 1b

Gleichzeitig mit Schritt 1a füllt das im Hydraulikmotor 111 auf 60 bar entspannte Wasser den ersten Zylinder 108. Das dort befindliche CO₂ wird über das geöffnete Rückschlagventil 105 und das Dreiwegeventil 119 isobar bei einem Druck von 60 bar in die Leitung 2 verdrängt.

15

Zustand nach Schritt 1a und 1b

Nach den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit CO₂ gefüllt, während der erste Zylinder 8 nahezu vollständig mit Wasser gefüllt ist. Die Rückschlagventile 103, 104, 105 und 106 sind geschlossen.

20

Schritt 2a

Sobald der erste Zylinder 108 nahezu vollständig mit Wasser gefüllt ist, ändern die 3-Wegeventile 109, 110 und 119, 120 die Strömungsrichtungen, so daß nun das CO₂ aus Leitung 101 über das Dreiwegeventil 120 und das geöffnete Rückschlagventil 106 in den ersten Zylinder 108 einströmen kann und nun dort das Wasser verdrängt. Das Wasser wird so geleitet, das es über die 3-Wege-Ventile 109 und 110 und den Hydraulikmotor 111 zum den zweiten Zylinder 107 gelangt.

25

Schritt 2b

Gleichzeitig mit Schritt 2a füllt das im Hydraulikmotor 111 auf 60 bar entspannte Wasser den zweiten Zylinder 107. Das dort befindliche CO₂ wird über das geöffnete Rückschlagventil 104 und Dreiwegeventil 119 isobar bei einem Druck von 60 bar in
5 die Leitung 2 verdrängt.

Zustand nach Schritt 2a und 2b

Nach den Schritten 2a und 2b ist der zweite Zylinder 7 nahezu vollständig mit Wasser gefüllt, während der erste Zylinder 8 nahezu vollständig mit CO₂ gefüllt ist. Die
10 Rückschlagventile 103, 104, 105 und 106 sind geschlossen. Dieser Zustand entspricht somit dem Zustand vor den Schritten 1a und 1b. Damit ist der Zyklus geschlossen und eine fortwährende Entspannung des CO₂ gewährleistet.

Abkühlung und Verflüssigung des CO₂

15 Über Leitung 102 gelangt nun das CO₂ bei einem Druck von 60 bar und einer Temperatur von 23 °C in den Kondensator 13. Dort wird es im Gegenstrom von Kühlturm-
wasser auf 19 °C abgekühlt und verflüssigt. Anschließend gelangt das nun wieder flüssige CO₂ zur Hydraulikpumpe 15.

20 Beispiel 2 zeigt, daß ein ORC-Prozeß, welcher mit der erfindungsgemäßen Anordnung zur Expansion eines Gases betrieben wird, durchaus im kleinen und mittleren
Leistungsbereich und relativ niedrigen Temperaturen mit einfachen Mitteln technisch und wirtschaftlich realisierbar ist.

25 Die in Fig. 2b gezeigte Anordnung entspricht der in Fig. 2a gezeigten Anordnung, außer daß im Gegensatz zu Fig. 2a keine Rückschlagventile 103, 104, 105 und 106 an
den Zylindern 107, 108 vorgesehen sind. Damit wird die Prozessführung weiter vereinfacht.

30 Wird bei der in den Fig. 2a oder Fig. 2b gezeigten Ausführungsform Pumpe 115 durch ein Expansionsventil ersetzt oder ist ein Expansionsventil in Parallelschaltung

zur Pumpe 115 vorgesehen, so ist es möglich, aus der Entspannung eines Gases heraus in dessen Verdichtung zu gelangen. Dabei werden lediglich die Ventile 119 und 120 so gesteuert, dass beim Erreichen eines gewählten Druckes diese abhängig vom komprimierenden oder saugenden Zylinder öffnen bzw. schließen. Diese Umschaltung von der Entspannung eines Gases in die Verdichtung kann während des Betriebs erfolgen. Der Generator 112 dient dann als Motor und versorgt die Hydraulikpumpe 111 mit elektrischer Energie. Die Wärmequelle 118 dient dann als Wärmeverbraucher, und der Gaserhitzer 117 ist im Wärmepumpenbetrieb ein Gaskühler. In Folge dieser Umschaltung wird die Vorrichtung wahlweise als Wärmepumpe oder Kraftwerk betrieben. Somit können anfallende Wärmeüberschüsse in 118 in elektrische Energie umgewandelt werden oder Wärmebedarf kann durch Zufuhr von elektrischer Energie in Generator 112 und Abwärme aus Kühlwasserturm 114 dem Verbraucher 118 durch Verdampfung in Kondensator 113 und Kompression in den Einrichtungen 101 bis 111 in Form von hoch temperierter Wärme zugeführt werden.

15

Beispiel 3

Die in Fig. 3 gezeigte Anordnung zur isothermen Kompression eines Gases entspricht der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform mit Ausnahme zweier zusätzlicher Wärmetauscher, durch die Hydraulikflüssigkeit 20, 25 zur Abkühlung geführt wird. Gleiche Bezugszeichen haben dieselbe Bedeutung wie in Fig. 1. Als gasförmiges Arbeitsmittel wird Luft eingesetzt. Die Hydraulikflüssigkeit ist Wasser.

20

Zustand vor Schritt 1a und 1b

Vor den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit der Hydraulikflüssigkeit gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit Luft gefüllt ist. Die Rückschlagventile 3, 4, 5, und 6 sind geschlossen.

25

Schritt 1a

In einen vollständig mit Luft gefüllten ersten Zylinder 8 strömt mittels Wärmetauscher 25 (siehe Schritt 1b) abgekühlte Hydraulikflüssigkeit über Düse 27 ein und

30

komprimiert die dort befindliche Luft, bis sich ein erster vorgegebener Druck aufbaut. Die Kompressionswärme wird von der mittels Düse 27 versprühten Hydraulikflüssigkeit aufgenommen. Dabei erwärmt sich die Hydraulikflüssigkeit geringfügig, während die Luft lediglich den Anteil an Druckenergie aufnimmt und speichert und nur einen
5 sehr geringen Teil der Kompressionswärme aufnimmt.

Sobald der erste vorgegebene Druck im ersten Zylinder 8 erreicht ist, öffnet sich das dritte Rückschlagventil (Rv) 6 und läßt die Luft isobar in die Druckleitung (Dl) 1 entweichen, dabei baut sich der erste vorgegebene Druck in der Druckleitung 1 auf.
10

Schritt 1b

Gleichzeitig mit Schritt 1a wird dem zweiten Zylinder 7 die benötigte Hydraulikflüssigkeit entnommen, durch das geöffnete Rückschlagventil 22 und das 3-Wegeventil 9 geleitet und der Hydraulikpumpe (Hp) 11 zugeführt. Die Hydraulikpumpe 11 pumpt
15 die Hydraulikflüssigkeit auf den ersten vorgegebenen Druck und läßt sie über das 3-Wegeventil 10 und das geöffnete Rückschlagventil 24 zu Wärmetauscher 25 strömen. Dabei ist Rückschlagventil 26 geschlossen, um ein direktes Eindringen der Hydraulikflüssigkeit in den ersten Zylinder 8 zu verhindern.

20 In Wärmetauscher 25 wird die Hydraulikflüssigkeit mit Kühlturmwater, das eine niedrigere Temperatur als die Hydraulikflüssigkeit aufweist, im Gegenstromprinzip abgekühlt. Das Wasser stammt aus einem Kühlturm 21. Nach der Abkühlung der Hydraulikflüssigkeit in Wärmetauscher 25 strömt sie über die Düse 27 in den ersten Zylinder 8 ein (siehe Schritt 1a).

25 Während der Entnahme der Hydraulikflüssigkeit sinkt der Druck in dem zweiten Zylinder 7 auf den zweiten vorgegebenen Druck, der niedriger als der erste vorgegebene Druck ist. Sobald der zweite vorgegebene Druck im zweiten Zylinder 7 erreicht ist, öffnet sich das zweite Rückschlagventil 4 und läßt Luft aus der Saugleitung (Sl) 2 in
30 den ersten Zylinder 7 einströmen.

Zustand nach Schritt 1a und 1b

Nach den Schritten 1a und 1b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit Luft gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist. Die Rückschlagventile 3, 4, 5, und 6 sind geschlossen.

5

Schritt 2a

In diesen Zustand ändern nun die beiden 3-Wegeventile 9 und 10 die Strömungsrichtung des Wassers; dabei schließen die Rückschlagventile 4, 6, 22 und 24, so daß nun die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten Zylinder 8 über das geöffnete Rückschlagventil 26 und das 3-Wegeventil 10 durch die Hydraulikpumpe 11 strömt. Das geschlossene Rückschlagventil 22 verhindert ein direktes Eindringen der Hydraulikflüssigkeit in den zweiten Zylinder 7. In der Hydraulikpumpe 11 erfährt die Hydraulikflüssigkeit eine Druckerhöhung vom zweiten vorgegebenen Druck auf den ersten vorgegebenen Druck. Danach wird die Hydraulikflüssigkeit über das 3-Wegeventil 9 und das geöffnete Rückschlagventil 19 zu Wärmetauscher 21 geführt.

15

In Wärmetauscher 21 wird die Hydraulikflüssigkeit mit Kühlturmwater, das eine niedrigere Temperatur als die Hydraulikflüssigkeit aufweist, im Gegenstromprinzip abgekühlt. Das Wasser stammt aus einem Kühlturm 21. Nach der Abkühlung der Hydraulikflüssigkeit in Wärmetauscher 21 strömt sie über die Düse 23 in den zweiten Zylinder 7 und komprimiert dort die Luft vom zweiten vorgegebenen Druck auf den ersten vorgegebenen Druck. Sobald der erste vorgegebene Druck im zweiten Zylinder 7 erreicht ist, öffnet sich das erste Rückschlagventil 3 und läßt wiederum die Luft isobar in die Druckleitung 1 entweichen.

20

25

Die Kompressionswärme wird von der mittels Düse 23 versprühten Hydraulikflüssigkeit aufgenommen. Dabei erwärmt sich die Hydraulikflüssigkeit geringfügig, während die Luft lediglich den Anteil an Druckenergie aufnimmt und speichert und nur einen sehr geringen Teil der Kompressionswärme aufnimmt.

30

Schritt 2b

Gleichzeitig mit Schritt 2a fällt im ersten Zylinder 8 hingegen der Druck. Sobald der Druck im zweiten Zylinder den zweiten vorgegebenen Druck erreicht hat, öffnet sich das vierte Rückschlagventil 5 und läßt Luft aus der Saugleitung 2 in den Zylinder 8 einströmen. Sobald der zweite Zylinder 7 vollständig mit Luft gefüllt ist, ändern die beiden 3-Wegeventile 9 und 10 die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit, so daß nun die Hydraulikflüssigkeit vom zweiten Zylinder 7 über die Hydraulikpumpe 11 und dem Wärmetauscher 21 zu dem ersten Zylinder 8 strömt und in diesen über Düse 27 eingeleitet wird.

10

Zustand nach Schritt 2a und 2b

Nach den Schritten 2a und 2b ist der zweite Zylinder 7 vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt, während der erste Zylinder 8 vollständig mit Luft gefüllt ist. Dieser Zustand entspricht somit dem Zustand vor den Schritten 1a und 1b. Die Rückschlagventile 3, 4, 5 und 6 sind geschlossen. Damit ist der Zyklus geschlossen und eine fortwährende Komprimierung des Luft unter Abfuhr an Kompressionswärme gewährleistet.

20 *Weitere Bestandteile der dritten Ausführungsform der Erfindung*

Die übrigen Bestandteile und Verfahrensschritte sind in den Abschnitten „Abkühlung und Entspannung des CO₂“ und „Verdampfen und Erwärmen des CO₂“ des Beispiels 1 und in Fig. 3 beschrieben, wobei in Beispiel 3 Luft anstelle CO₂ von als gasförmiges Arbeitsmittel eingesetzt wird. Alternativ kann an die Druckleitung 1 ein Speichergefäß beispielsweise für Luft (Druckluft) angebracht werden. Die Saugleitung würde dann der Atmosphäre die Ansaugluft entziehen. Die Abwärmequelle 21 (Kühlquelle) könnte ein Speichergefäß für Wasser sein, in dem das für die Kühlung der Hydraulikflüssigkeit benötigte Wasser gespeichert wird. An ihm könnten zusätzlich andere Abwärmequellen oder Solarkollektoren angeschlossen werden, die den Inhalt des Speichergefäßes bei Stillstand weiter erwärmen. Diese Wärme kann bei Bedarf später der gespeicherten Luft über Wärmetauscher wieder zurückgegeben werden, welche dann

30

über einen Kraftprozeß beispielsweise den beschriebenen Entspannungsprozeß entspannt werden kann und zu einem sehr hohen Wirkungsgrad größer 80 % (bei Berücksichtigung der kostenlosen Abwärmequelle) in elektrische oder mechanische Energie umgewandelt werden.

5

Beispiel 4

Unter Bezugnahme auf Figur 4 wird eine vierte Ausführungsform der Erfindung zur Umwandlung von Wärme in technische Arbeit beschrieben. Diese findet beispielsweise bei Druckluftspeichern Verwendung. Dabei wird ein unter Druck stehendes und auf eine höhere Temperatur als die der Umgebung erhitztes Gas als Arbeitsmedium verwendet. Diese Vorrichtung soll dabei die Turbine ersetzen und einen wesentlich höheren exergetischen Ausnutzungsgrad erreichen.

15 Im Ausgangszustand ist Behälter 208 vollständig mit einer Hydraulikflüssigkeit (Hf) gefüllt, während Behälter 207 nur durch unter atmosphärischem Druck stehende Luft gefüllt ist. Die Ventile 203 bis 206 sind geschlossen.

Schritt 1

20 Die aus Leitung 202 unter Druck strömende Luft wird über das sich öffnende Ventil 206 in den Behälter 208 geleitet. Dabei nimmt die Hydraulikflüssigkeit den gleichen Druck an wie die einströmende Luft. Die nun unter Druck stehende Hydraulikflüssigkeit wird durch entsprechende Stellung der Ventile 211 und 212 über den Hydraulikmotor 215 in den Behälter 207 entspannt. Dabei nimmt die Hydraulikflüssigkeit Umgebungsdruck an, da das Ventil nun geöffnet ist. In Folge der Entspannung wird mechanische Energie am Hydraulikmotor 215 abgegeben. Gleichzeitig wird durch Stellung der Ventile 209 und 210 die Hydraulikflüssigkeit aus dem Behälter 208 durch die Pumpe 214 umgewälzt sowie durch die Wärmequelle 213 erwärmt. In der Düse 218 wird die Hydraulikflüssigkeit wieder in den Behälter 208 versprüht. Dadurch wird die einströmende Luft trotz Entspannung auf ihrem Temperaturniveau gehalten. Dieser Vorgang findet so lange statt, bis so viel Luftmasse im Behälter 208 ist, dass diese bei

30

Umgebungsdruck den Behälter 208 vollständig ausfüllt. Bei Erreichen dieses Zustandes schließt Ventil 206, und es findet durch Zufuhr von Wärme aus Wärmequelle 213 eine isotherme Entspannung statt.

5 Schritt 2

Wenn der Druck im Behälter 208 gleich groß dem im Behälter 207 ist und Behälter 207 vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist, schalten die Ventile 209 bis 212 um, und das Ventil 204 wird geschlossen. Anschließend wird Ventil 203 und 206 geöffnet. Nun gelangt die heiße und unter Druck stehende Luft in den Behälter 207 und
10 beaufschlagt die Hydraulikflüssigkeit mit Druck. Diese wird nun über den Hydraulikmotor 215 in den Behälter 208 geleitet und dabei entspannt, dies geschieht unter Abgabe von mechanischer Energie. Gleichzeitig wird durch Umwälzung der Hydraulikflüssigkeit aus Behälter 207 und Erwärmung durch Wärmequelle 213 die einströmende Luft durch Erwärmung aus der in den Behälter 207 strömenden Hydraulikflüs-
15 sigkeit aus Düse 217 erwärmt. Dabei kommt es wieder zur isothermen Entspannung, bis so viel Luft in Behälter 207 gelangt ist, dass diese unter Umgebungsdruck den Behälter 207 vollständig ausfüllt. Bei Erreichen dieses Zustandes schließt das Ventil 203 und es findet durch Zufuhr von Wärme aus Wärmequelle 213 weiter eine isotherme Entspannung statt. Wenn Behälter 208 vollständig mit Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist,
20 kommt es zur Umschaltung der Ventile 209 bis 212, Schließung des Ventils 205 und Öffnung des Ventils 206.

Damit ist der Kreislauf zu Schritt 1 erreicht. Die kontinuierlich anfallende mechanische Arbeit wird durch den Generator 216 in elektrische Energie umgewandelt.

25

Dieser Prozess ermöglicht eine isotherme Entspannung und erlaubt somit die physikalisch bestmögliche Umwandlung von Wärme in hochwertige mechanische oder elektrische Energie.

30

Beispiel 5

Es wird eine Ausführungsform eines Niedertemperatur-Kraftprozesses beschrieben. In diesem Beispiel wird ein Verfahren zur Umwandlung von industrieller Niedertemperaturwärme in elektrische Energie mittels der in Fig. 5 gezeigten Vorrichtung beschrieben. Um Totzeiten an der Kraftmaschine zu vermeiden, werden, statt notwendigerweise zwei, vier Behälter verwendet.

Im Ausgangszustand sind die Behälter 301 und 303 mit einer Kohlendioxidmasse von 64 kg befüllt, während die Behälter 302 und 4 lediglich mit 13 kg befüllt sind. Die Innenvolumina aller Behälter 301 bis 304 sind gleich groß und liegen bei 0,1 m³. Ebenfalls sind Druck und Temperatur aller Behälter gleich groß, wobei der Druck sich in Abhängigkeit von der Temperatur einstellt. Da die Behälter eine Temperatur von 15 °C aufweisen, herrscht in allen ein Druck von 50 bar. Die Ventile 309 bis 312 sind alle in Stellung A→B, so dass die Behälter zunächst keine Verbindung untereinander aufweisen und ein in sich geschlossenes Volumen haben.

Schritt 1

Die Ventile 316 und 317 sind in Stellung C→A geöffnet, somit gelangt Abwärme mit einer Temperatur von 60 °C von der Abwärmequelle 324 durch den Wärmetauscher 305 in den Behälter 301. Dabei kommt es zur Erwärmung des Kohlendioxides sowie Erhöhung des Behälterdruckes auf 160 bar, durch isochore Zustandsänderung (ZÄ). Gleichzeitig sind die Ventile 322 und 323 in Stellung A→B und lassen aus der Wärmesenke 325 Wasser mit einer Temperatur von 10 °C durch den Wärmetauscher 308 fließen. Durch die Kühlung des Wärmetauschers 308 kommt es in Behälter 304 zur Kondensation, wobei sich ein Dampfdruck im Behälter von 45 bar einstellt. Diese Druckdifferenz zwischen Behälter 301 und 304 wird nun durch Umschalten der Ventile 309 und 312 freigegeben. Dabei strömt das Kohlendioxid aus Behälter 301 durch den Wärmeübertrager 315, wo es gegebenenfalls unterkühlt wird, in den Hydraulikmotor 313. In ihm kommt es zur Entspannung auf den Kondensationsdruck, welcher im Behälter 304 herrscht. Das entspannte Kohlendioxid wird anschließend in den Behälter 304 geleitet und füllt diesen. Durch fortwährende Zufuhr bei der Entspannung

im Behälter 301 durch Wärme, wird dieser auf einer Temperatur von 60 °C gehalten, dadurch kommt es zur isothermen Entspannung. Der Behälter 304 wird ebenfalls fortwährend mit der Wärmesenke 325 gekühlt. Zur selben Zeit gehen die Ventile 318 und 319 in Stellung $A \rightarrow B$ und kühlen den Behälter 302 auf einen Kondensationsdruck von 45 bar, während durch Stellung der Ventile 320 und 321 und Zufuhr von Wärme aus der Wärmequelle 324, der Behälter 303 auf einen Druck von 160 bar durch isochore Zustandsänderung gebracht wird.

Schritt 2

10 Ist der Druckausgleich zwischen Behälter 301 und 304 abgeschlossen, gehen die Ventile 316 und 317 in Stellung $A \rightarrow B$ sowie die Ventile 322 und 323 in Stellung $A \rightarrow C$. Dadurch wird nun der mit Kohlendioxid gefüllte Behälter 304 mit Wärme aus der Wärmequelle 324 erwärmt. Dabei baut dieser durch isochore Zustandsänderung einen Druck von 160 bar auf. Das im Behälter 301 auf 13 kg reduzierte Kohlendioxid wird
15 durch die Umschaltung der Ventile 316 und 317 nun mit Hilfe der Wärmesenke 325 gekühlt, wobei sich ein Kondensationsdruck von 45 bar einstellt. Zuvor gehen die Ventile 309 und 310 in Stellung $A \rightarrow B$ und schließen die Behälter 301 und 304, während die Behälter 302 und 303 durch die Ventile 310 und 311, Stellung $C \rightarrow B$ hydraulisch verbunden werden. Dadurch kommt es zum Druckausgleich zwischen den Be-
20 hältern 303 und 302, wobei das Kohlendioxid aus Behälter 303 durch den Wärmetauscher 315 und den Hydraulikmotor 313 in den Behälter 302 strömt. Durch die Entspannung auf Kondensationsdruck von Behälter 302 in den Hydraulikmotor 313 kommt es zur Abgabe von mechanischer Energie im Hydraulikmotor 313. Dies geschieht wieder fortwährend durch Energiezufuhr im Behälter 303 und Kühlung des
25 Behälters 302, bis sich ein Druckausgleich eingestellt hat.

Schritt 3

Ist der Druckausgleich zwischen Behälter 303 und 302 erreicht, gehen die Ventile 310 und 311 in Stellung $A \rightarrow B$ und schließen die Behälter wieder, während die Ventile
30 309 und 312 in Stellung $C \rightarrow A$ bzw. $C \rightarrow B$ gehen. Durch weiteres Umschalten der Ventile 318 und 319 in Stellung $C \rightarrow A$ sowie der Ventile 320 und 321 in Stellung

A→B kommt es in Behälter 302 zur Erwärmung und Druckanstieg auf 160 bar, während in Behälter 303 durch Kühlung sich ein Druck von 45 bar einstellt. Gleichzeitig wird die Druckdifferenz die zwischen Behälter 304 und 301 herrscht, durch den Hydraulikmotor abgebaut, wobei jetzt Behälter 304 einen Druck von 160 bar aufweist, während in Behälter 301 ein Druck von 45 bar herrscht. Dies geschieht wieder unter Zufuhr von Wärme in Behälter 304, während Behälter 301 durch die Wärmesenke 325 gekühlt wird.

Schritt 4

10 Ist der Druckausgleich zwischen Behälter 304 und 301 erreicht, schalten die Ventile 309 und 312 wieder in Stellung A→B, während die Ventile 310 und 311 in Stellung C→A gehen. Dabei kommt es wieder zum Druckabbau zwischen den Behältern 302 und 303, während die Behälter 301 und 304 einen Druckunterschied durch Umschalten der Ventile 316 und 317, in Stellung C→A, und die Ventile 322 und 323, in Stellung A→B aufbauen.

20 Ist der Druckausgleich zwischen Behälter 302 und 303 erreicht, schließt sich durch Umschalten der Ventile 310 und 311, in Stellung A→B, sowie durch Umschalten der Ventile 309 und 312, in Stellung C→B bzw. C→A der Kreis und der Ausgangspunkt zu Schritt 1 ist vollzogen. Dadurch ist eine fortwährende Abgabe von mechanischer Energie an den Generator 314 gewährleistet, wobei eine Umwandlung von niedertemperierter Abwärme in hochwertige elektrische Energie erfolgt.

Bezugszeichenliste

	1	Druckleitung
	2	Saugleitung
5	3	erstes Rückschlagventil
	4	zweites Rückschlagventil
	5	viertes Rückschlagventil
	6	drittes Rückschlagventil
	7	zweiter Zylinder
10	8	erster Zylinder
	9	3-Wege-Ventil
	10	3-Wege-Ventil
	11	Hydraulikpumpe
	12	Elektromotor
15	13	Gaskühler
	14	innerer Wärmeübertrager
	15	Expansionsventil
	16	Verdampfer
	17	Verbraucher
20	18	Brunnen
	19	Rückschlagventil
	20	Wärmetauscher
	21	Abwärmequelle
	22	Rückschlagventil
25	23	Düse im zweiten Zylinder 7
	24	Rückschlagventil
	25	Wärmetauscher
	26	Rückschlagventil
	27	Düse im zweiten Zylinder 8
30		
	101	erste Leitung

	102	zweite Leitung
	103	erstes Rückschlagventil
	104	zweites Rückschlagventil
	105	viertes Rückschlagventil
5	106	drittes Rückschlagventil
	107	zweiter Zylinder
	108	erster Zylinder
	109	3-Wege-Ventil
	110	3-Wege-Ventil
10	111	Hydraulikmotor
	112	Generator
	113	Kondensator
	114	Kühlwasserturm
	115	Hydraulikpumpe
15	116	Elektromotor
	117	Wärmetauscher
	118	Abwärmequelle
	119	zweites 3-Wege-Ventil
	120	erstes 3-Wege-Ventil
20		
	202	Leitung
	203 – 206	Ventile
25	207	Behälter
	208	Behälter
	209 – 212	Ventile
	213	Wärmequelle
	215	Hydraulikmotor
30	216	Generator
	217	Düse

	218	Düse
	301 – 304	Behälter
	305 - 308	Wärmetauscher
5	309 – 312	Ventile
	313	Hydraulikmotor
	314	Generator
	315	Wärmeübertrager
	316 – 323	Ventile
10	324	Wärmequelle
	325	Wärmesenke

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verdichtung oder Entspannung eines gasförmigen Arbeitsmittels mittels einer Hydraulikflüssigkeit, umfassend einen ersten adiabaten Zylinder (8, 108) und einen zweiten adiabaten Zylinder (7, 107), der mit dem ersten Zylinder (8, 108) über eine Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie hydraulisch verbunden ist, wobei

5

(a) sich in einem ersten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet;

10

(b) in einem ersten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) in den ersten adiabaten Zylinder (8, 108) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert;

15

(c) sich in einem zweiten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108), befindet;

20

(d) in einem zweiten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) in den zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert; und

25

(e) der erste Schritt (b) unter Erreichen des zweiten Zustandes und anschließend der zweite Schritt (d) unter Erreichen des ersten Zustandes wiederholt ausgeführt werden.

30

2. Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Verdichtung des gasförmigen Arbeitsmittels, dadurch gekennzeichnet, daß

5 – der erste adiabate Zylinder (8) über ein erstes Ventil (3) mit einer ersten Leitung (1) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (8) strömen kann;

10 – der erste adiabate Zylinder (8) über ein zweites Ventil (4) mit einer zweiten Leitung (2) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (8) strömen kann;

15 – der zweite adiabate Zylinder (7) über ein drittes Ventil (6) mit der ersten Leitung (1) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7) strömen kann;

– der zweite adiabate Zylinder (7) über ein viertes Ventil (5) mit der zweiten Leitung (2) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (7) strömen kann;

20 – die Einrichtung zur Zufuhr (11) von Energie eine Hydraulikpumpe (11) ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, die die Hydraulikpumpe (11) passiert, erhöht;

wobei

25 – in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand die Ventile (3, 4, 5, 6) der beiden Zylinder (7, 8) geschlossen sind;

30 – in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7) in den ersten adiabaten Zylinder (8) geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8) auf einen vorgege-

benen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das erste Ventil (3) öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (1) strömt; und (ii) der Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) erreicht ist, das vierte Ventil (5) öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (7) strömt; und

– in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (8) in den zweiten adiabaten Zylinder (7) geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das dritte Ventil (6) öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (1) strömt; und (ii) der Druck in dem ersten adiabaten Zylinder (8) auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem ersten adiabaten Zylinder (8) erreicht ist, das zweite Ventil (4) öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (8) strömt.

- 20 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über Dreiwegeventile (9, 10) bestimmt wird, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder (8) und dem zweiten adiabaten Zylinder (7) angeordnet sind.
- 25 4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Leitung (1), in der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über ein Expansionsventil (15) mit der zweiten Leitung (2) verbunden ist, in dem das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel entspannt wird.
- 30 5. Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Entspannung des gasförmigen Arbeitsmittels, dadurch gekennzeichnet, daß

– der erste adiabate Zylinder (108) über ein erstes Ventil (103) und ein Dreiwegeventil (120) mit einer ersten Leitung (101) verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömen kann;

5

– der erste adiabate Zylinder (108) über ein zweites Ventil (104) und ein Dreiwegeventil (119) mit einer zweiten Leitung (102) verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) strömen kann;

10

– der zweite adiabate Zylinder (107) über ein drittes Ventil (106) und dem Dreiwegeventil (120) mit der ersten Leitung (101) verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömen kann;

15

– der zweite adiabate Zylinder (107) über ein viertes Ventil (105) und dem Dreiwegeventil (119) mit der zweiten Leitung (102) verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömen kann;

20

– die Einrichtung zur Abfuhr (111) von Energie ein Hydraulikmotor (111) ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, der den Hydraulikmotor (111) passiert, verringert;

25

wobei

– in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand die Ventile (103, 104, 105, 106) der beiden Zylinder (107, 108) geschlossen sind;

30

– in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) in den ersten adiabaten Zylinder (108) geführt wird, (i) ü-

über das geöffnete dritte Ventil (106) verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus der ersten Leitung (1) in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) verdrängt wird und in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) über das geöffnete zweite Ventil (104) in die zweite Leitung (2) strömt;

5

– in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) in den zweiten adiabaten Zylinder (107) geführt wird, (i) über das geöffnete erste Ventil (103) verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) verdrängt wird und in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) über das geöffnete vierte Ventil (105) in die zweite Leitung (2) strömt.

10

15

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über Dreiwegeventile (9, 10) bestimmt wird, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder (8) und dem zweiten adiabaten Zylinder (7) angeordnet sind.

20

7. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß

– die Strömung des verdichteten gasförmigen Arbeitsmittels aus der ersten Leitung (101) zum ersten adiabaten Zylinder (108) oder zum zweiten adiabaten Zylinder (107) durch das Dreiwegeventil 20 bestimmt wird;

25

– die Strömung des entspannten gasförmigen Arbeitsmittels aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) oder dem zweiten adiabaten Zylinder (107) in die zweite Leitung (102) durch das Dreiwegeventil 19 bestimmt wird.

30

8. Verfahren zur Verdichtung oder Entspannung eines gasförmigen Arbeitsmittels mittels einer Hydraulikflüssigkeit in einer Vorrichtung, umfassend einen ersten adiabaten Zylinder (8, 108) und einen zweiten adiabaten Zylinder (7, 107), der mit dem ersten Zylinder (8, 108) über eine Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie hydraulisch verbunden ist, wobei

5

(a) sich in einem ersten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet;

10

(b) in einem ersten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) in den ersten adiabaten Zylinder (8, 108) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert;

15

(c) sich in einem zweiten Zustand das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) befindet und sich die Hydraulikflüssigkeit in dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108), befindet;

20

(d) in einem zweiten Schritt die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (8, 108) in den zweiten adiabaten Zylinder (7, 107) geführt wird, wobei die Hydraulikflüssigkeit die Einrichtung zur Zufuhr (11) oder Abfuhr (111) von Energie passiert; und

25

(e) der erste Schritt (b) unter Erreichen des zweiten Zustandes und anschließend der zweite Schritt (d) unter Erreichen des ersten Zustandes wiederholt ausgeführt werden.

30

9. Verfahren nach Anspruch 8 zur Verdichtung des gasförmigen Arbeitsmittels, dadurch gekennzeichnet, daß

- der erste adiabate Zylinder (8) über ein erstes Ventil (3) mit einer ersten Leitung (1) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (8) strömen kann;
- 5 – der erste adiabate Zylinder (8) über ein zweites Ventil (4) mit einer zweiten Leitung (2) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (8) strömen kann;
- 10 – der zweite adiabate Zylinder (7) über ein drittes Ventil (6) mit der ersten Leitung (1) verbunden ist, in die verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7) strömen kann;
- 15 – der zweite adiabate Zylinder (7) über ein viertes Ventil (5) mit der zweiten Leitung (2) verbunden ist, aus der entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (7) strömen kann;
- 20 – die Einrichtung zur Zufuhr (11) von Energie eine Hydraulikpumpe (11) ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, die die Hydraulikpumpe (11) passiert, erhöht;
- 25 wobei
- 30 – in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand die Ventile (3, 4, 5, 6) der beiden Zylinder (7, 8) geschlossen sind;
- in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (7) in den ersten adiabaten Zylinder (8) geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem ersten adiabaten Zylinder (8) auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das erste Ventil (3) öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (1) strömt; und

(ii) der Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) erreicht ist, das vierte Ventil (5) öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (7) strömt; und

5

– in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (8) in den zweiten adiabaten Zylinder (7) geführt wird, (i) das gasförmige Arbeitsmittel in dem zweiten adiabaten Zylinder (7) auf einen vorgegebenen Druck verdichtet wird, wobei sich, sobald das gasförmige Arbeitsmittel den vorgegebenen Druck erreicht hat, das dritte Ventil (6) öffnet, so daß das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel isobar in die erste Leitung (1) strömt; und (ii) der Druck in dem ersten adiabaten Zylinder (8) auf einen vorgegebenen Wert sinkt, wobei sich, sobald der vorgegebene Druck in dem ersten adiabaten Zylinder (8) erreicht ist, das zweite Ventil (4) öffnet, so daß entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (8) strömt.

10

15

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über Dreiwegeventile (9, 10) bestimmt wird, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder (8) und dem zweiten adiabaten Zylinder (7) angeordnet sind.

20

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Leitung (1), in der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel strömt, über ein Expansionsventil mit der zweiten Leitung (2) verbunden ist, in dem das verdichtete gasförmige Arbeitsmittel entspannt wird.

25

12. Verfahren nach Anspruch 8 zur Entspannung des gasförmigen Arbeitsmittels, dadurch gekennzeichnet, daß

- der erste adiabate Zylinder (108) über ein erstes Ventil (103) und ein Dreiwegeventil (120) mit einer ersten Leitung (101) verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömen kann;
 - 5 – der erste adiabate Zylinder (108) über ein zweites Ventil (104) und ein Dreiwegeventil (119) mit einer zweiten Leitung (102) verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) strömen kann;
 - 10 – der zweite adiabate Zylinder (107) über ein drittes Ventil (106) und dem Dreiwegeventil (120) mit der ersten Leitung (101) verbunden ist, aus der verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömen kann;
 - 15 – der zweite adiabate Zylinder (107) über ein viertes Ventil (105) und dem Dreiwegeventil (119) mit der zweiten Leitung (102) verbunden ist, in die entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömen kann;
 - 20 – die Einrichtung zur Abfuhr (111) von Energie ein Hydraulikmotor (111) ist, die den Druck der Hydraulikflüssigkeit, der den Hydraulikmotor (111) passiert, verringert;
- wobei
- 25 – in dem ersten Zustand und dem zweiten Zustand die Ventile (103, 104, 105, 106) der beiden Zylinder (107, 108) geschlossen sind;
- 30 – in dem ersten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) in den ersten adiabaten Zylinder (108) geführt wird, (i) über das geöffnete dritte Ventil (106) verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel aus

der ersten Leitung (1) in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) verdrängt wird und in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) über das geöffnete zweite Ventil (104) in die zweite Leitung (2) strömt;

5

– in dem zweiten Schritt, in dem die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) in den zweiten adiabaten Zylinder (107) geführt wird, (i) über das geöffnete erste Ventil (103) verdichtetes gasförmiges Arbeitsmittel in den ersten adiabaten Zylinder (108) strömt, so daß die Hydraulikflüssigkeit aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) verdrängt wird und in den zweiten adiabaten Zylinder (107) strömt; und (ii) entspanntes gasförmiges Arbeitsmittel aus dem zweiten adiabaten Zylinder (107) über das geöffnete vierte Ventil (105) in die zweite Leitung (2) strömt.

10

15

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit über Dreiwegeventile (9, 10) bestimmt wird, die in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder (8) und dem zweiten adiabaten Zylinder (7) angeordnet sind.

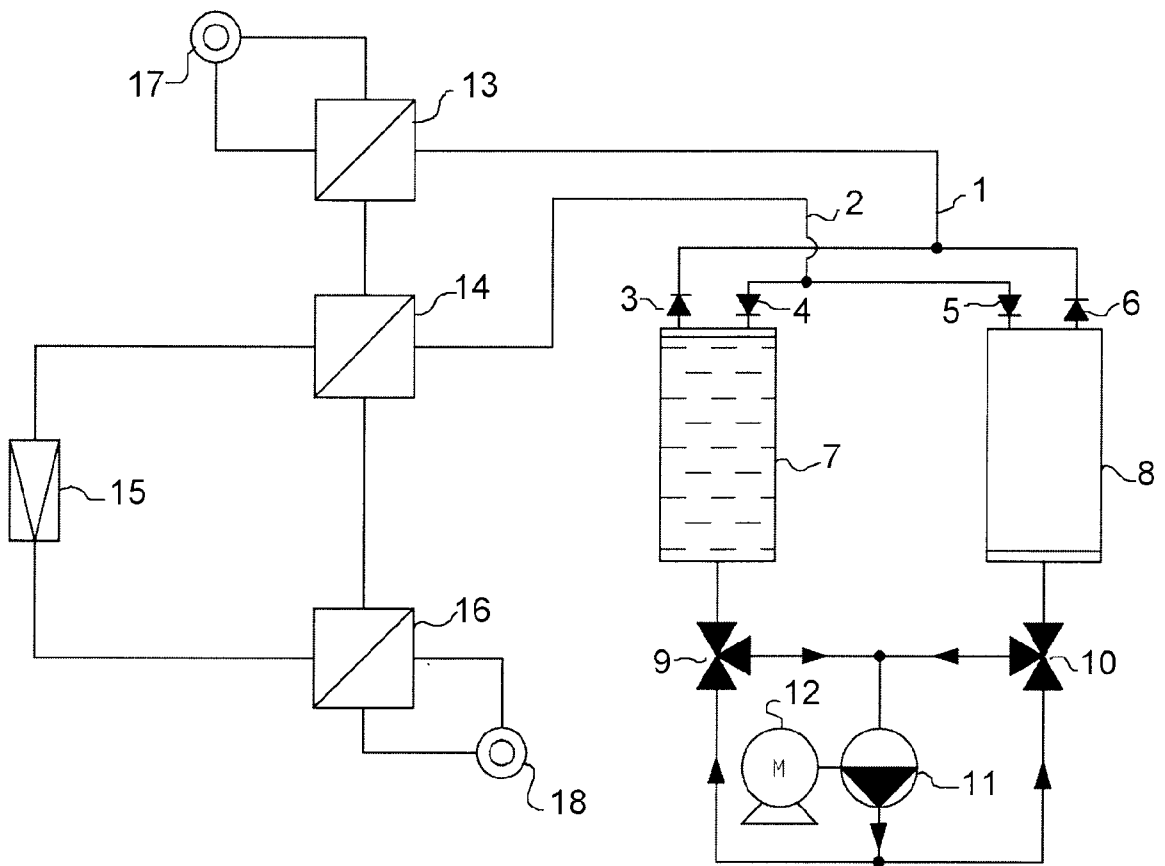
20

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Strömung des verdichteten gasförmigen Arbeitsmittels aus der ersten Leitung (101) zum ersten adiabaten Zylinder (108) oder zum zweiten adiabaten Zylinder (107) durch das Dreiwegeventil 20 bestimmt wird;
 - die Strömung des entspannten gasförmigen Arbeitsmittels aus dem ersten adiabaten Zylinder (108) oder dem zweiten adiabaten Zylinder (107) in die zweite Leitung (102) durch das Dreiwegeventil 19 bestimmt wird.

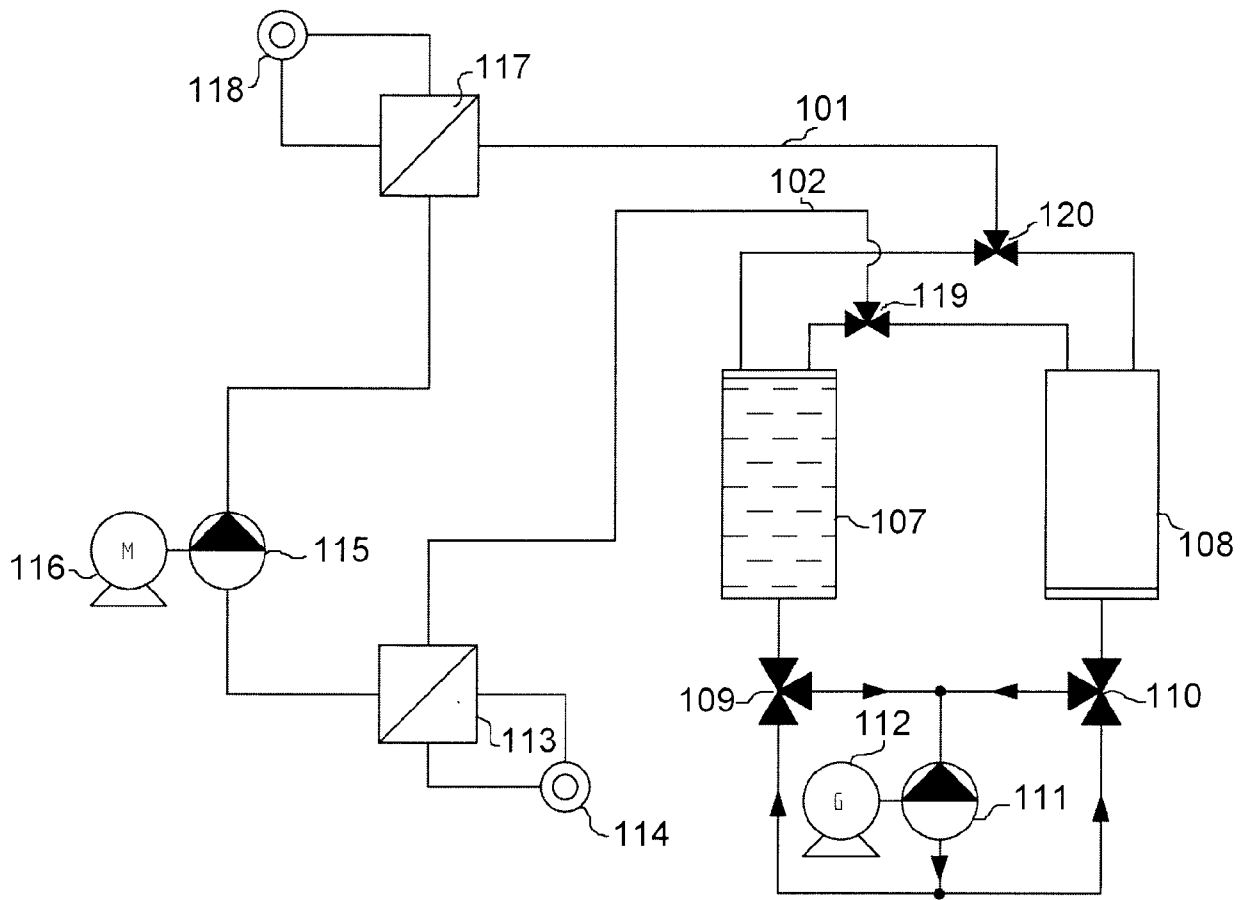
25

30

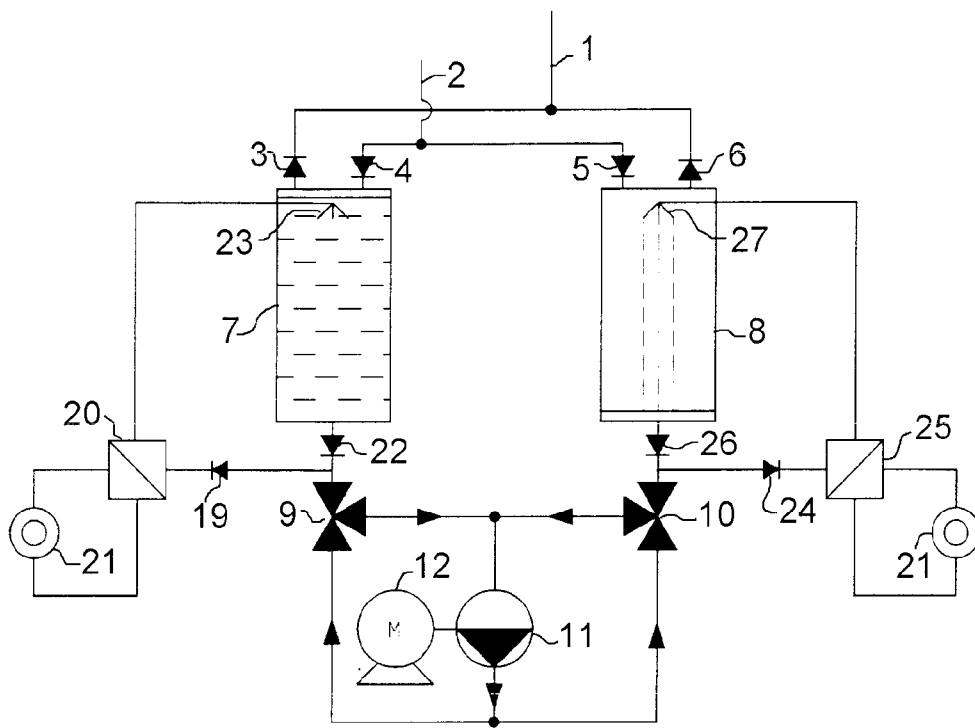
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Bestimmung der Strömungsrichtung der Hydraulikflüssigkeit ferner zumindest ein Dreiwegeventil aufweist, das in der hydraulischen Verbindung zwischen dem ersten adiabaten Zylinder und dem zweiten adiabaten Zylinder angeordnet ist.
- 5



Figur 1



Figur 2b



Figur 3

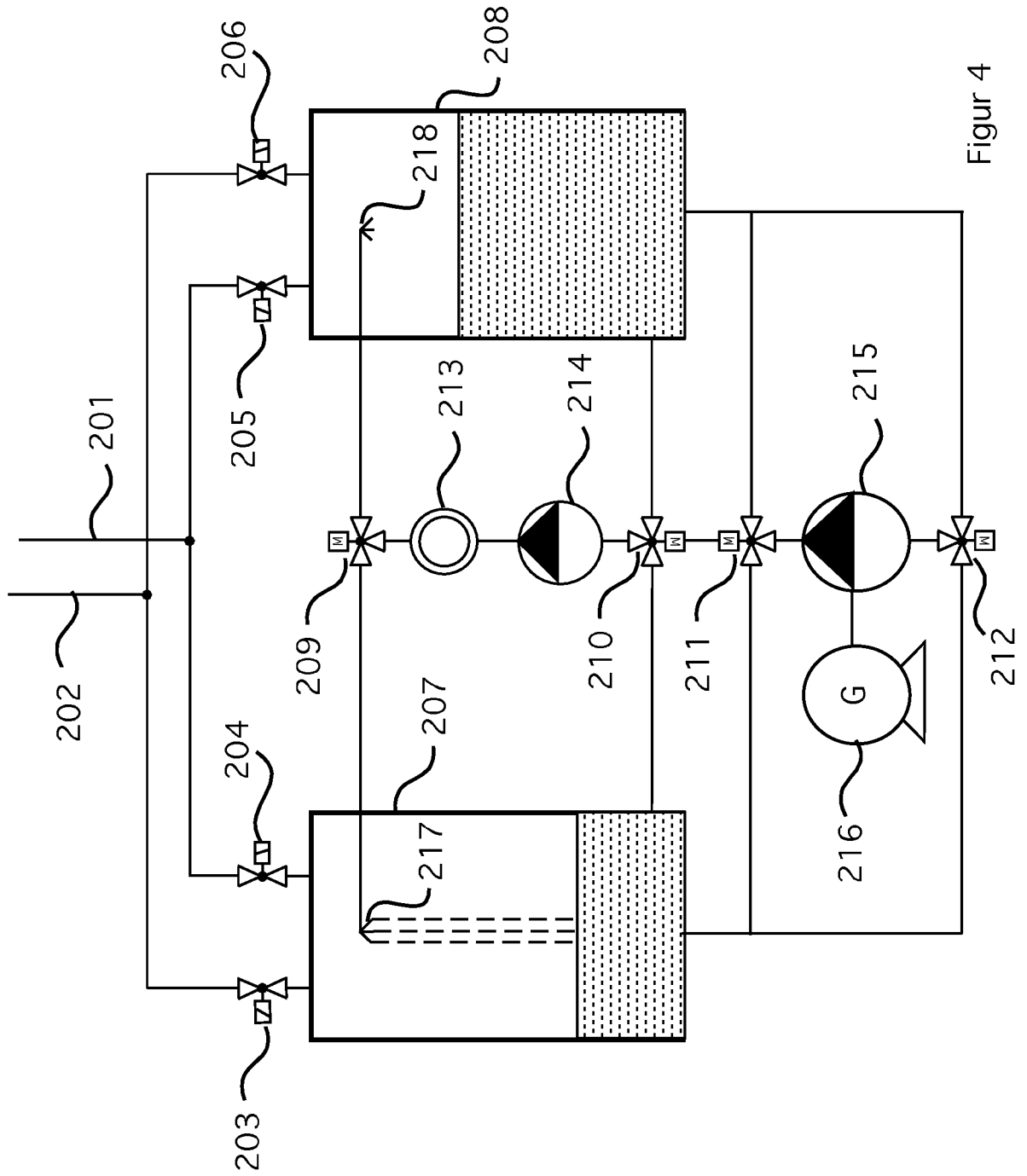
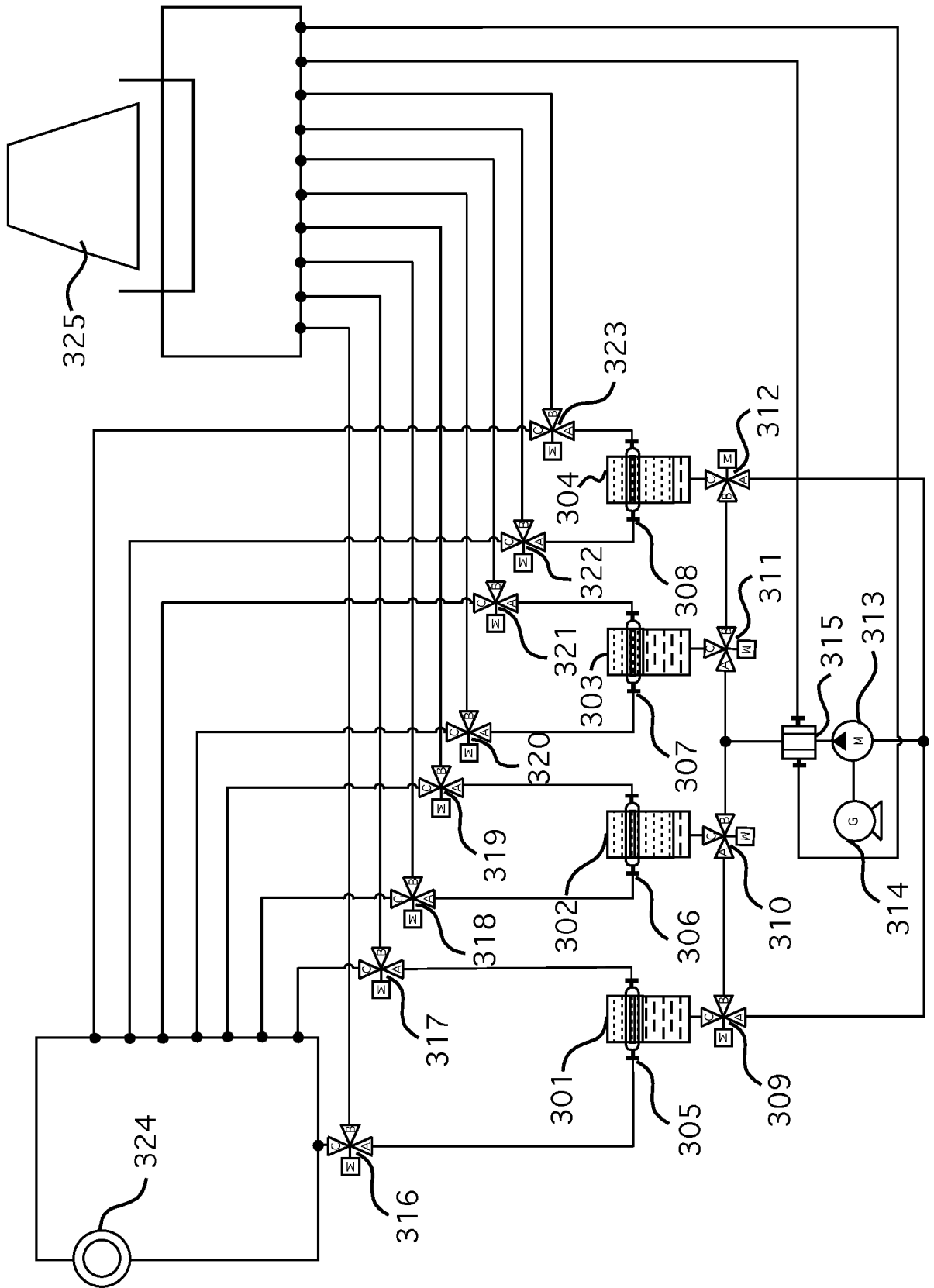


Figure 4



Figur 5