

(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
13. Februar 2014 (13.02.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/023722 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/066457
- (22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2013 (06.08.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 213 878.1
6. August 2012 (06.08.2012) DE
- (72) Erfinder; und
- (71) Anmelder : MAJOROS, István [CH/CH]; Riedmatt 25,
CH-6300 Zug (CH).
- (74) Anwalt: GRÜNECKER KINKELDEY STOCKMAIR
& SCHWANHÄUSSER; Leopoldstraße 4, 80802
München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: HEAT ENGINE AND THERMODYNAMIC CYCLE FOR CONVERTING HEAT INTO USEFUL WORK

(54) Bezeichnung : WÄRMETRIEBMASCHINE UND THERMODYNAMISCHER KREISPROZESS ZUR UMWANDLUNG
VON WÄRME IN NUTZARBEIT

(57) Abstract: Heat engine (1) for converting heat into useful work, comprising a first storage arrangement (2A) for a working gas, wherein said storage arrangement (2A) is divided into a first cold chamber (3A) and a first warm chamber (4A), and a first movable piston arrangement (5A) is configured in such a way that it changes the overall volume of the first storage arrangement (2A) and presses the working gas to and fro between the two first chambers (3A, 4A), characterized in that the heat engine (1) comprises a second storage arrangement (2B) for the working gas, wherein said second storage arrangement (2B) is divided into a second cold chamber (3B) and a second warm chamber (4B), and a second movable piston arrangement (5B) is configured in such a way that it changes the overall volume of the second storage arrangement (2B) and presses the working gas to and fro between the two second chambers (3B, 4B), and that a connection (6) between the first and the second storage arrangement (2A, 2B) is provided for a part quantity of the working gas to be exchanged between the two storage arrangements (2A, 2B) at least during a predefined constellation of the two piston arrangements (5A, 5B).

(57) Zusammenfassung: Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit, umfassend einer ersten Speicheranordnung (2A) für ein Arbeitsgas, wobei diese in eine erste kalte (3A) und eine erste warme (4A) Kammer unterteilt ist, und eine erste bewegliche Kolbenanordnung (5A) derart ausgeführt ist, dass sie das Gesamtvolumen der ersten Speicheranordnung (2A) verändert und das Arbeitsgas zwischen den beiden ersten Kammern (3A, 4A) hin- und herdrückt, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmekraftmaschine (1) eine zweite Speicheranordnung (2B) für das Arbeitsgas umfasst, wobei diese in eine zweite kalte (3B) und eine zweite warme (4B) Kammer unterteilt ist, und eine zweite bewegliche Kolbenanordnung (5B) derart ausgeführt ist, dass sie das Gesamtvolumen der zweiten Speicheranordnung (2B) verändert und das Arbeitsgas zwischen den beiden zweiten Kammern (3B, 4B) hin- und herdrückt, und dass eine Verbindung (6) zwischen der ersten und der zweiten Speicheranordnung (2A, 2B) dafür vorgesehen ist, dass zumindest während einer vordefinierten Konstellation der beiden Kolbenanordnungen (5A, 5B) eine Teilmenge des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) ausgetauscht wird.

WO 2014/023722 A2

Wärmekraftmaschine und thermodynamischer Kreisprozess zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit

Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach den Merkmalen des Oberbegriffs von Patentanspruch 1 und einen thermodynamischen Kreisprozess.

Üblicherweise dienen Wärmekraftmaschinen zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit, die beispielsweise für den Antrieb eines Generators oder eines Fahrzeugs verwendet werden kann. Dabei wird entweder innerhalb oder außerhalb der Wärmekraftmaschine ein Kraftstoff verbrannt und die dabei freigesetzte Wärmeenergie in mechanische Arbeit umgewandelt.

Eine Gruppe von Wärmekraftmaschinen bilden die Verbrennungsmotoren. Dabei wird beispielsweise in einem Dieselmotor in einem Zylinder ein Gemisch aus Luft und Kraftstoff durch einen Kolben so stark komprimiert, dass es sich von selbst entzündet. Die so freigesetzte Energie führt zu einer Expansion des Gases und somit zu einer Kraft auf den Kolben, welcher dann eine mechanische Arbeit verrichten kann. Nach der vollständigen Expansion des Gases wird dieses als Abgas an die Umwelt abgegeben und die darin enthaltene Restwärme kann nicht mehr genutzt werden.

Weitere Vertreter der Wärmekraftmaschinen sind Heißluftmotoren, wie beispielsweise ein Stirling-Motor. Dabei wird dem Motor von außen Wärme zugeführt, beispielsweise durch eine äußere Verbrennung oder eine Solaranlage. Innerhalb des Motors befindet sich ein abgeschlossenes Arbeitsgas, dem die Wärme zugeführt wird und das einen thermodynamischen Kreisprozess durchläuft, um die Wärme in Nutzarbeit umzuwandeln.

Üblicherweise weisen derartige Wärmekraftmaschinen eine Speicheranordnung für ein Arbeitsgas auf, die in eine kalte und eine warme Kammer unterteilt ist. Mittels einer beweglichen Kolbenanordnung wird das Arbeitsgas zwischen den beiden Kammern hin- und hergedrückt und gleichzeitig das Gesamtvolumen der Speicheranordnung verändert. Das Gesamtvolumen ist dabei beispielsweise durch die Bewegung eines Arbeitskolbens veränderbar, der die vom Arbeitsgas geleistete Arbeit als Nutzarbeit abführt.

Derartige Vorrichtungen haben zum Nachteil, dass der Wirkungsgrad bei den Verbrennungsmotoren dadurch vermindert wird, dass die Abwärme des Abgases nicht in mechanischer Arbeit umgewandelt werden kann. Andererseits weisen die Heißluftmotoren eine relative komplexe Mechanik auf, die den idealen Kreisprozess nicht nachbilden kann und
5 wodurch auch hier der Wirkungsgrad vermindert wird.

Aufgabe der Erfindung ist, eine Wärmekraftmaschine und einen thermodynamischen Kreisprozess zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit bereitzustellen, die eine geringe Komplexität der mechanisch bewegten Elemente ermöglichen und einen hohen Wirkungsgrad erlauben.

10 Die Erfindung stellt eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils bereit, gemäß dem die Wärmekraftmaschine eine zweite Speicheranordnung für das Arbeitsgas umfasst, wobei diese in eine zweite kalte und eine zweite warme Kammer unterteilt ist und eine zweite bewegliche Kolbenanordnung derart ausgeführt ist,
15 dass sie das Gesamtvolumen der zweiten Speicheranordnung verändert und das Arbeitsgas zwischen den beiden zweiten Kammern hin- und herdrückt, und dass eine Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Speicheranordnung dafür vorgesehen ist, dass zumindest während einer vordefinierten Konstellation der beiden Kolbenanordnungen eine Teilmenge des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen ausgetauscht
20 wird.

Dadurch, dass die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine eine erste Speicheranordnung mit einer ersten beweglichen Kolbenanordnung bereitstellt, welche das darin enthaltene Arbeitsgas zwischen den beiden ersten Kammern hin- und herdrückt und zusätzlich eine zweite Speicheranordnung umfasst, in der eine zweite bewegliche Speicheranordnung das Arbeitsgas zwischen den beiden zweiten Kammern hin- und herdrückt und
25 zusätzlich eine Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Speicheranordnung dazu vorgesehen ist, während einer vordefinierten Konstellation der beiden Kolbenanordnungen eine Teilmenge des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen auszutauschen, wird ein Druckausgleich zwischen beiden Speicheranordnungen erzielt. Durch den
30 Druckausgleich wird eine Masse Δm des Arbeitsgases von der einen Speicheranordnung mit dem höheren Druck an die andere Speicheranordnung mit dem niedrigeren Druck abgegeben. Entsprechend wird also ein Teil der Gaskompressionsarbeit in einer Spei-

cheranordnung als Verdichtungsarbeit an die andere Speicheranordnung übertragen, und geht somit nicht verloren. Dies bewirkt eine entsprechende Erhöhung des Wirkungsgrads der Wärmekraftmaschine. Zusätzlich ist es möglich, die beiden beweglichen Kolbenanordnungen so zu koppeln, dass ein erster Teilzyklus des thermodynamischen Kreisprozesses in einer Speicheranordnung abläuft und der andere Teil in der anderen Speicheranordnung. Somit kann das Arbeitsgas in einer Speicheranordnung den maximalen Druck erreichen und gleichzeitig in der anderen Speicheranordnung den minimalen Druck im Kreisprozess, so dass der Druckausgleich bei einer maximalen Druckdifferenz erfolgen kann. Hiermit kann ein noch höherer Wirkungsgrad erreicht werden.

- 10 Die Wärmekraftmaschine kann ein Verbrennungsmotor oder ein Heißluftmotor sein. Die warmen Kammern können so ausgeführt sein, dass ihnen von einer externen Wärmequelle Wärme zugeführt wird. Die kalten Kammern können so ausgeführt sein, dass von diesen Wärme an einen externen Speicher oder an die Umgebung abgeführt werden kann. Die beiden Speicheranordnungen können als Zylinder ausgeführt sein, in denen jeweils
15 die beweglichen Kolbenanordnungen laufen. Anders ausgedrückt können die Speicheranordnungen röhrenförmig sein, in denen insbesondere die Kolbenanordnungen mit einer linearen Bewegung laufen. Die erste und die zweite Speicheranordnung können gleich ausgeführt sein. Die erste und die zweite bewegliche Kolbenanordnung können mechanisch miteinander gekoppelt sein. Das Arbeitsgas kann ein einatomiges oder zwei-
20 atomiges Gas umfassen, und insbesondere ein Gasgemisch sein. Der statische Druck des Gases kann in einem Bereich von 2 bis 150 bar variabel sein. Das Arbeitsgas kann insbesondere Luft sein.

- Die Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Kammer einer jeweiligen Speicheranordnung kann vorzugsweise in einem Bereich von 1 K bis 1000 K, insbesondere in einem Bereich von 10 K bis 300K, insbesondere in einem Bereich von 50 K bis 150
25 K liegen. Die Wärmekraftmaschine kann so ausgeführt sein, dass das Arbeitsgas in den beiden Speicheranordnungen hermetisch eingeschlossen ist.

- Insbesondere kann die Verbindung der beiden Speicheranordnungen so ausgeführt sein, dass ein Austausch einer Teilmenge des Arbeitsgases aus der warmen Kammer der einen Speicheranordnung zu der kalten Kammer der zweiten Speicheranordnung fließt.
30 Dadurch wird erreicht, dass ein Teil der bereits in der einen Speicheranordnung vorhandenen Wärme in die andere Speicheranordnung übergeführt wird. Noch vorteilhafter kann

die Verbindung der beiden Speicheranordnungen so ausgeführt sein, dass beim Austausch einer Teilmenge des Arbeitsgases das Volumen der warmen Kammer der einen Speicheranordnung und das der kalten Kammer der anderen Speicheranordnung maximal ist.

- 5 Vorteilhafterweise kann die erste und die zweite Speicheranordnung als erster und zweiter Verdrängungszylinder ausgeführt sein.

Anders ausgedrückt kann mindestens eine Speicheranordnung eine Kolbenanordnung mit einem Verdrängungskolben umfassen und so ausgeführt sein, dass sich bei einer Bewegung des Verdrängungskolbens das Gesamtvolumen der Speicheranordnung nicht ver-
10 ändert. Die Kolbenanordnung kann so ausgeführt sein, dass diese die Speicheranordnung in die kalte und die warme Kammer unterteilt.

Die Verbindung zwischen den beiden Speicheranordnungen kann ein Arbeitszylinder umfassen, der insbesondere dazu geeignet ist, das Gesamtvolumen der beiden Speicheranordnungen zu verändern. Dadurch, dass die Verbindung als Arbeitszylinder ausgeführt ist,
15 können die erste und die zweite Speicheranordnung als Verdrängungszylinder ausgeführt sein. Der Arbeitszylinder kann so ausgeführt sein, dass er das Gesamtvolumen beider Speicheranordnungen gleichzeitig verändert. Somit wird einerseits die Veränderung des Gesamtvolumens der beiden Speicheranordnungen durch den Arbeitszylinder bewirkt und das Hin- und Herdrücken des Arbeitsgases zwischen den beiden Kammern durch die Ver-
20 drängungskolben. Dies erlaubt eine entsprechend einfache Umsetzung der Mechanik der Wärmekraftmaschine.

In einer weiteren vorteilhaften Ausbildung können die Verdrängungszylinder und der Arbeitszylinder auf einer gemeinsamen Achse angeordnet sein. Hierdurch ergibt sich eine besonders einfache Konfiguration der Wärmekraftmaschine.

25 Die beiden Kolbenanordnungen können eine Kolbenstange umfassen, auf der ein Arbeitskolben und zwei Verdrängungskolben angeordnet sind. Dabei kann der Arbeitskolben innerhalb des Arbeitszylinders laufen und die beiden Verdrängungskolben innerhalb der jeweiligen Verdrängungszylinder. Dadurch, dass sowohl der Arbeitskolben, als auch die beiden Verdrängungskolben auf einer Kolbenstange angeordnet sind, ergibt sich eine
30 besonders einfache Konstruktion der Kolbenanordnungen.

Die beiden Speicheranordnungen können jeweils einen Erhitzer und einen Kühler umfassen, die dazu geeignet sind, dem Arbeitsgas Wärmeenergie zu- oder abzuführen. Der Erhitzer und der Kühler einer Speicheranordnung kann in einem Bereich der warmen bzw. kalten Kammer angeordnet sein. Dadurch, dass die beiden Speicheranordnungen jeweils einen Erhitzer und einen Kühler umfassen, wird ein effizienterer Austausch mit dem Arbeitsgas erreicht, da die Wärme dem Arbeitsgas nicht über Gehäuseteile zu- oder abgeführt werden muss.

Der Kühler und/oder der Erhitzer können so angeordnet sein, dass das Arbeitsgas diese beim Wechsel zwischen der kalten und der warmen Kammer durchläuft. Der Erhitzer und/oder der Kühler kann eine Lamellenstruktur umfassen, welche einen effizienten Wärmeaustausch mit dem Arbeitsgas erlaubt.

Insbesondere kann zwischen dem Erhitzer und dem Kühler jeweils ein Regenerator angeordnet sein, der dazu geeignet ist, Wärme aus dem Arbeitsgas zu speichern. Durch diese Anordnung kann dem warmen Arbeitsgas ein Teil der Wärme durch den Regenerator entzogen werden und später dem kalten Arbeitsgas wieder zugeführt werden. Somit lässt sich der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine weiter erhöhen. Der Regenerator kann so ausgeführt sein, dass er die Wärme dem Arbeitsgas zu- oder abführt, wenn das Arbeitsgas zwischen der warmen und der kalten Kammer hin- und hergedrückt wird. Der Regenerator kann eine Lamellenstruktur aufweisen.

Die warme Kammer kann in zwei Teilkammern unterteilt sein, die über einen Verbindungskanal miteinander verbunden sind. Mindestens eine Speicheranordnung kann so ausgeführt sein, dass in einem Zylinder zwischen der ersten und der zweiten Teilkammer ein Verdrängungskolben, eine kalte Kammer, ein Erhitzer, ein Regenerator und/oder ein Kühler angeordnet ist. Die zweite Teilkammer kann mit dem Arbeitszylinder verbunden sein.

Die Wärmekraftmaschine kann ein Schwungrad und/oder eine Feder umfassen, die insbesondere mit der ersten und/oder der zweiten Kolbenanordnung verbunden ist. Das Schwungrad und/oder die Feder können dazu geeignet sein, einen Teil der verrichteten Arbeit der ersten und/oder der zweiten Speicheranordnung zwischenspeichern und diese später an die Speicheranordnung zurückzugeben. Das Schwungrad und/oder die

Feder können mit der Kolbenstange verbunden sein. Durch diese Anordnung kann der Gleichlauf der Wärmekraftmaschine verbessert werden.

Die Erfindung stellt ferner einen thermodynamischen Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine bereit, gemäß dem in einem Arbeitszyklus während eines ersten Prozessschrittes in einer ersten Speicheranordnung ein Volumen V_1 eines Arbeitsgases mit der Masse $m_1 + \Delta m$ ausgehend von einer Temperatur T_{11} und einem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen $V_1 + \Delta V_1$ so expandiert und erwärmt wird, dass danach die Temperatur T_{12} größer ist als T_{11} und der Druck p_2 größer ist als der Ausgleichsdruck p_m , und während eines zweiten Prozessschrittes in einer zweiten Speicheranordnung ein Volumen $V_2 + \Delta V_2$ eines Arbeitsgases mit der Masse m_2 ausgehend von einer Temperatur T_{22} und dem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen V_2 so komprimiert und gekühlt wird, dass danach die Temperatur T_{21} kleiner ist als T_{22} und der Druck p_1 kleiner ist als der Ausgleichsdruck p_m , und während eines dritten Prozessschrittes eine Verdichtung in der ersten Speicheranordnung und eine Expansion in der zweiten Speicheranordnung derart erfolgt, dass danach in beiden Speicheranordnungen der gleiche Ausgleichsdruck p_m des Arbeitsgases vorliegt, wobei bevorzugt die beiden Speicheranordnungen dabei so miteinander verbunden werden, dass eine Masse Δm des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen ausgetauscht wird.

Dabei können der erste und der zweite Prozessschritt gleichzeitig ablaufen.

In einem weiteren Arbeitszyklus kann während eines vierten Prozessschrittes in der ersten Speicheranordnung ein Volumen $V_1 + \Delta V_1$ eines Arbeitsgases mit der Masse m_1 ausgehend von einer Temperatur T_{12} und dem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen V_1 so komprimiert und gekühlt werden, dass danach die Temperatur T_{11} kleiner ist als T_{12} und der Druck p_{11} kleiner ist als der Ausgleichsdruck p_m . Während eines fünften Prozessschrittes kann in der zweiten Speicheranordnung ein Volumen V_2 eines Arbeitsgases mit der Masse $m_2 + \Delta m$ ausgehend von einer Temperatur T_{21} und einem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen $V_2 + \Delta V_2$ so expandiert und erwärmt werden, dass danach die Temperatur T_{22} größer ist als T_{21} und der Druck p_{22} größer ist als der Ausgleichsdruck p_m . Während eines sechsten Prozessschrittes kann eine Expansion in der ersten Speicheranordnung und eine Verdichtung in der zweiten Speicheranordnung derart erfolgen, dass danach in beiden Speicheranordnungen der gleiche Ausgleichsdruck p_m des Arbeitsgases vorliegt,

wobei bevorzugt die beiden Speicheranordnungen dabei so miteinander verbunden werden, dass eine Masse Δm des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen ausgetauscht wird. Dabei können der vierte und der fünfte Prozessschritt gleichzeitig ablaufen.

- 5 Falls kein Austausch einer Masse Δm zwischen beiden Speicheranordnungen erfolgt, dann erfolgt die Verdichtung ganz mechanisch. Dabei ist insbesondere die Masse des Arbeitsgases in beiden Speicheranordnungen gleich.

Es kann dabei gelten, dass $T_1 = T_{11} = T_{21}$, $T_2 = T_{12} = T_{22}$, $V = V_1 = V_2$ und $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$. Ebenso kann dabei gelten, dass $p_{11} = p_1$ und/oder $p_{22} = p_2$.

- 10 Die Wärmekraftmaschine kann mit einer Solaranlage verbunden sein, die insbesondere Solarkollektoren zur Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme aufweist. Die Wärmekraftmaschine kann dazu vorgesehen sein, aus der Abwärme einer zweiten Wärmekraftmaschine Nutzarbeit zu erzeugen.

- 15 Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Dabei zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in einer Seitenansicht;

- 20 Figur 2 in einer schematischen Darstellung der Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während der Prozessschritte 1 und 2 des thermodynamischen Kreisprozesses;

Figur 3 in einer schematischen Darstellung der Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während des Prozessschrittes 3 des thermodynamischen Kreisprozesses;

- 25 Figur 4 in einer schematischen Darstellung der Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während der Prozessschritte 4 und 5 eines weiteren Zyklus des thermodynamischen Kreisprozesses;

Figur 5 in einer schematischen Darstellung der Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während des Prozessschrittes 6 eines weiteren Zyklus des thermodynamischen Kreisprozesses; und

Figur 6 in einem p-V-Diagramm ein Zyklus des thermodynamischen Kreisprozess.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine 1 in einer Seitenansicht. Zu sehen ist hier eine erste Speicheranordnung 2A für ein Arbeitsgas, wobei diese in eine erste kalte Kammer 3A und eine erste warme Kammer 4A unterteilt ist. Die Unterteilung ist hier über die erste bewegliche Kolbenanordnung 5A ausgeführt. Spiegelsymmetrisch dazu befindet sich eine zweite Speicheranordnung 2B, die in die zweite kalte Kammer 3B und die zweite warme Kammer 4B durch eine zweite bewegliche Kolbenanordnung 5B unterteilt ist. Die beiden Speicheranordnungen 2A, 2B sind über eine Verbindung 6 miteinander verbunden, so dass während zwei Konstellationen der Kolbenanordnungen 5A, 5B eine Teilmenge des Arbeitsgases zwischen den beiden Speicheranordnungen 2A, 2B ausgetauscht werden kann.

Die beiden Speicheranordnungen 2A, 2B sind als Verdrängungszylinder 7A, 7B ausgeführt, die einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen und jeweils in eine warme Kammer 4A, 4B und eine kalte Kammer 3A, 3B unterteilt sind. Die Unterteilung wird dabei durch die Kolbenanordnung 5A, 5B realisiert, wobei sich auf einer gemeinsamen Kolbenstange 9 die beiden Verdrängungskolben 11A und 11B befinden. Die Kolbenstange 9 bewegt sich dabei auf der Achse C-C hin und her. Ferner weisen die Speicheranordnungen 2A, 2B jeweils einen Erhitzer 12A, 12B, einen Regenerator 14A, 14B und einen Kühler 13A, 13B auf. Mit den Erhitzern 12A, 12B kann dem Arbeitsgas Wärme zugeführt werden, die aus einer externen Wärmequelle stammt. Dies ist beispielsweise eine Solaranlage, welche warmes Wasser bereitstellt, das durch die Erhitzer 12A, 12B gepumpt wird. Die Kühler 13A, 13B sind so ausgeführt, dass damit dem Arbeitsgas Wärme entzogen und nach außen abgeführt werden kann. Beispielsweise erfolgt dies durch einen Kühlwasserkreislauf, der durch die Kühler 13A, 13B fließt. Zwischen dem Erhitzer 12A, 12B und dem Kühler 13A, 13B ist ein Regenerator 14A, 14B angeordnet, der hier als Kupferdrahtgeflecht ausgebildet ist und somit Wärme aus dem Arbeitsgas beim Durchströmen zwischenspeichern kann.

Des Weiteren ist zu sehen, dass die warmen Kammern 4A, 4B in jeweils zwei Teilkammern 4Aa, 4Ab, 4Ba, 4Bb unterteilt sind, die über die Verbindungskanäle 15A, 15B miteinander verbunden sind. Somit kann bei einer Bewegung des Verdrängungskolbens 11A, 11B das Arbeitsgas aus der kalten Kammer 3A, 3B durch den Kühler 13A, 13B den Regenerator 14A, 14B, den Erhitzer 12A, 12B in die eine warme Teilkammer 4Ab, 4Bb ge-

langen und von dort über den Verbindungskanal 15A, 15B in die andere Teilkammer 4Aa, 4Ba. Ebenso kann dieser Vorgang umgekehrt erfolgen.

5 Zwischen den beiden Speicheranordnungen 2A, 2B befindet sich die Verbindung 6, welche als Arbeitszylinder 8 ausgeführt ist. In diesem Arbeitszylinder 8 läuft ein Arbeitskolben 10, welcher ebenfalls mit der Kolbenstange 9 fest verbunden ist. Durch die Bewegung des Arbeitskolbens 10 wird somit das Gesamtvolumen der Speicheranordnung 2A, 2B verändert. Bei einer Bewegung des Arbeitskolbens 10 in der Figur 1 nach links, wird das Volumen der ersten Speicheranordnung 2A vergrößert bzw. das der zweiten Speicheranordnung 2B verkleinert. Umgekehrt wird bei einer Bewegung nach rechts des Arbeitskolbens 10 das Volumen der ersten Speicheranordnung 2A verkleinert bzw. das der Speicheranordnung 2B vergrößert.

Die Kolbenstange ist mit einer Kurbelwelle verbunden, auf der ein Schwungrad gelagert ist (hier nicht dargestellt), das einen Teil der vom Arbeitsgas geleisteten Arbeit zwischen speichern kann.

15 Die genaue Funktion der Wärmekraftmaschine und die Bewegung des Arbeitsgases innerhalb der Verdrängungskolben 7A, 7B und des Arbeitskolbens werden anhand der folgenden vier Figuren genauer erläutert.

In Figur 2 wird die Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während der Prozessschritte 1 und 2 des thermodynamischen Kreisprozesses schematisch dargestellt, wobei sich die Kolbenstange 9 dabei in Figur 2 nach links bewegt. Zu sehen ist, dass sich der Verdrängungskolben 11A innerhalb des Verdrängungszyinders 7A ebenfalls nach links bewegt, wobei sich das Volumen der kühlen Kammer 3A verkleinert. Hierdurch wird das Arbeitsgas durch den Kühler 13A, den Regenerator 14A und den Erhitzer 12A gedrückt und in der Folge wird das Arbeitsgas erwärmt und gelangt von dort in die Teilkammer 4Ab im Anschluss an den Erhitzer. Ein Teil des Arbeitsgases fließt von dort durch den Verbindungskanal 15A zurück in die zweite Teilkammer 4Aa. Somit befindet sich in der zweiten Teilkammer 4Aa ebenfalls erhitztes Arbeitsgas. Gleichmaßen bewegt sich der Arbeitskolben 10 mit der Kolbenstange 9 nach links und das Gesamtvolumen der ersten Speicheranordnung 2A wird entsprechend vergrößert. Somit befindet sich im Arbeitszylinder 8 ebenfalls erhitztes Arbeitsgas in einem Bereich rechts neben dem Arbeitskolben 10.

Bei dem dargelegten Prozessschritt des thermodynamischen Kreisprozesses wird somit in der ersten Speicheranordnung 2A das Volumen V des Arbeitsgases mit der Masse $m + \Delta m$ vergrößert und gleichzeitig die Temperatur von T_1 auf T_2 erhöht. Die Temperaturerhöhung ist dabei so gewählt, dass auch der Druck des Arbeitsgases von p_m auf p_2 steigt.

5 Dies bewirkt eine Kraft auf den Arbeitskolben 10, wodurch die eigentliche Nutzarbeit vom Arbeitsgas verrichtet wird und über den Arbeitskolben 10 abgeleitet werden kann.

In der zweiten Speicheranordnung 2B bewegt sich im Verdrängungszyylinder 7B der Verdrängungskolben 11B ebenfalls nach links, da er ebenfalls fest mit der Kolbenstange 9 verbunden ist. Somit verkleinert sich das Volumen der warmen Teilkammer 4Ba und das

10 Arbeitsgas wird durch den Verbindungskanal 15B in die zweite warme Teilkammer 4Bb gedrückt. Anschließend wird das Arbeitsgas durch den Erhitzer 12B, den Regenerator 14B und den Kühler 13B gedrückt und somit abgekühlt, wobei es anschließend in die kalte Kammer 3B gelangt. Gleichzeitig wird das Gesamtvolumen der Speicheranordnung 2B durch die Bewegung des Arbeitskolbens 10 in der Figur 2 nach links verkleinert.

15 Somit wird das Arbeitsgas mit der Masse m in der zweiten Speicheranordnung 2B von der Temperatur T_2 auf die niedrigere Temperatur T_1 abgekühlt und gleichzeitig das Volumen von $V + \Delta V$ nach V komprimiert. Gleichzeitig wird das Arbeitsgas so stark abgekühlt, dass sich auch der Druck auf einen niedrigen Druck p_2 absenkt.

Kurz bevor die Kolben 11A, 10, 11B ihre Extremstellung in Figur 2 links erreicht haben,

20 befindet sich also in der ersten Speicheranordnung 2A eine Teilmasse $m + \Delta m$ mit der hohen Temperatur T_2 , dem hohen Druck p_2 und dem größeren Volumen $V + \Delta V$. In der zweiten Speicheranordnung 2B befindet sich eine Teilmenge des Arbeitsgases mit der Masse m , der niedrigen Temperatur T_1 , dem niedrigen Druck p_1 und dem kleineren Volumen V .

In Figur 3 ist die Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während des Prozessschrittes 3 des thermodynamischen Kreisprozesses schematisch dargestellt, wobei sich nun die Kolbenstange 9 in der linken extremen Position befindet. Zu sehen ist, dass sich nun der Arbeitskolben 10 soweit aus dem Arbeitszylinder 8 bewegt hat, dass eine offene Verbindung zwischen beiden Speicheranordnungen 2A, 2B besteht. Nachdem das Arbeitsgas in der ersten Speicheranordnung 2A zuvor einen größeren Druck aufweist als in der zweiten Speicheranordnung 2B, erfolgt nun ein Druckausgleich zwischen beiden Speicheranordnungen 2A, 2B, so dass sich ein mittlerer Druck p_m einstellt. Somit gelangt ein Teil des war-

25

30

men Arbeitsgases mit der Masse Δm und der Temperatur T_2 aus der ersten Speicheranordnung 2A in die zweite Speicheranordnung 2B und fließt durch den Erhitzer 12B, den Regenerator 14B und den Kühler 13B in die kalte Kammer 3B. Entsprechend wird diese Teilmenge Δm des Arbeitsgases auf die Temperatur T_1 abgekühlt. Die entsprechende Gaskompressionsarbeit q_1 wird aus der ersten Speicheranordnung 2A in die zweite Speicheranordnung 2B überführt. Die Gaskompressionsarbeit q_1 berechnet sich durch die Formel $q_1 = T_2 \times \Delta m$. Ein Teil davon verrichtet die Verdichtungsarbeit $q_2 = T_1 \times \Delta m$ in der zweiten Speicheranordnung, um die Teilmenge Δm des Arbeitsgases dort zu verdichten.

In Figur 4 ist die Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während der Prozessschritte 4 und 5 eines weiteren Zyklus des thermodynamischen Kreisprozesses schematisch dargestellt, wobei hier die umgekehrte Zustandsänderung wie in Figur 2 erfolgt. Zu sehen ist hier, dass sich die Kolbenstange 9 nach rechts bewegt und somit auch die beiden Verdrängungskolben 11A, 11B, sowie der Arbeitskolben 10.

Dadurch, dass sich der Verdrängungskolben 11A in der ersten Speicheranordnung 2A nach rechts bewegt, verkleinert sich das Volumen der warmen Teilkammer 4Aa und das darin enthaltene Arbeitsgas wird durch den Verbindungskanal 15A in die zweite Teilkammer 4Ab gedrückt und von dort durch den Erhitzer 12A, den Regenerator 14A und den Kühler 13A in die kühle Kammer 3A. Dabei wird das Arbeitsgas entsprechend abgekühlt. Gleichzeitig wird das Gesamtvolumen der ersten Speicheranordnung 2A durch die Bewegung des Arbeitskolbens 10 im Arbeitszylinder 8 verkleinert, wodurch das Arbeitsgas weiter komprimiert wird.

Somit wird in der ersten Speicheranordnung 2A das Arbeitsgas mit der Masse m nach der Zustandsänderung auf die niedrigere Temperatur T_1 abgekühlt und dabei wird das Volumen $V + \Delta V$ auf V komprimiert. Der Druck wird bei dieser Zustandsänderung von dem Mitteldruck p_m auf den niedrigeren Druck p_1 abgesenkt.

Gleichzeitig wird in der zweiten Speicheranordnung 2B im Verdrängungszylinder 7B durch die Bewegung des Verdrängungskolbens 11B nach rechts das Arbeitsgas aus der kühlen Kammer 3B durch den Kühler 13B, den Regenerator 14B und den Erhitzer 12B in die Teilkammer 4Bb gedrückt und dabei erwärmt. Anschließend gelangt es durch den Verbindungskanal 15B in die zweite warme Teilkammer 4Ba. Gleichzeitig wird das Gesamtvo-

lumen der zweiten Speicheranordnung 2B durch die Bewegung des Arbeitskolbens 10 in dem Arbeitszylinder 8 vergrößert.

Somit hat das Arbeitsgas mit der Masse $m + \Delta m$ in der zweiten Speicheranordnung 2B nach dieser Zustandsänderung die höhere Temperatur T_2 , das größere Volumen $V + \Delta V$ und den höheren Druck p_2 .

In Figur 5 wird die Wärmekraftmaschine nach Figur 1 während des Prozessschrittes 6 eines weiteren Zyklus des thermodynamischen Kreisprozesses dargestellt. Hier ist zu sehen, dass sich die Kolben 11A, 10, 11B in der äußersten rechten Position befinden. Dabei ist in der ersten Speicheranordnung 2A das Volumen der kalten Kammer 3A und in der zweiten Speicheranordnung 2B das Volumen der warmen Kammer 4B maximal. Gleichzeitig bewegt sich der Arbeitskolben so weit aus dem Arbeitszylinder heraus, dass eine offene Verbindung zwischen den beiden Speicheranordnungen 2A, 2B entsteht.

Hierbei wird wiederum ein Druckausgleich zwischen beiden Speicheranordnungen 2A, 2B erzielt und eine Teilmenge des Arbeitsgases mit der Masse Δm fließt von der zweiten Speicheranordnung mit dem höheren Druck p_2 in die erste Speicheranordnung 2A mit dem niedrigeren Druck p_1 . Dabei gelangt das Arbeitsgas an dem Arbeitskolben vorbei durch den Erhitzer 12A und den Regenerator 14A und den Kühler 13A in die kühlere Kammer 3A und wird dabei abgekühlt. Somit wird die Gasimpressionsarbeit $q_1 = T_2 \times \Delta m$ von der zweiten Speicheranordnung 2B an die erste Speicheranordnung 2A übertragen und leistet dort die Verdichtungsarbeit $q_2 = T_1 \times \Delta m$. Nach dem erfolgten Druckausgleich herrscht in beiden Speicheranordnungen 2A, 2B der Mitteldruck q_m .

In Figur 6 ist ein p-V-Diagramm eines Zyklus des thermodynamischen Kreisprozess zu sehen, in dem die Zustandsänderungen der Figuren 2 und 3 zusammengefasst sind. Zu sehen ist ein Diagramm bei dem auf der Abszisse das Volumen und auf der Ordinate der Druck aufgetragen ist.

Zunächst befindet sich in der ersten Speicheranordnung 2A eine Menge des Arbeitsgases $m + \Delta m$ und weist den Zustand Z_1 auf. Dabei hat das Arbeitsgas den Mitteldruck p_m , das Volumen V und die Temperatur T_1 . Nach der Vergrößerung des Gesamtvolumens der Speicheranordnung 2A durch die Bewegung des Arbeitskolbens 8 erreicht nun das Arbeitsgas das Volumen $V + \Delta V$ und wird gleichzeitig auf die Temperatur T_2 erhitzt. Als Fol-

ge ergibt sich ein höherer Druck des Arbeitsgases p_2 und das Arbeitsgas befindet sich somit im Zustand Z_2 .

5 Gleichzeitig erfolgt eine Zustandsänderung in der zweiten Speicheranordnung 2B des Arbeitsgases mit der Masse m vom Zustand Z_3 in den Zustand Z_4 . Durch die Bewegung des Arbeitskolbens 8 in dem Arbeitszylinder 10 erfolgt eine Verkleinerung des Gesamtvo-
lomens der zweiten Speicheranordnung 2B von $V + \Delta V$ auf V . Gleichzeitig wird das Arbeitsgas auf die niedrigere Temperatur T_1 abgekühlt und weist somit nach der Zustands-
änderung einen niedrigeren Druck p_1 auf.

10 Nachdem sich nun das Arbeitsgas in der ersten Speicheranordnung im Zustand Z_2 und in der zweiten Speicheranordnung 2B im Zustand Z_4 befindet, erfolgt der Druckausgleich zwischen beiden Speicheranordnungen 2A, 2B auf den Mitteldruck p_m , wobei sich nun das Arbeitsgas in der ersten Speicheranordnung 2A im Zustand Z_3 und in der zweiten Speicheranordnung 2B im Zustand Z_1 befindet. Dabei wird die Masse Δm des Arbeitsga-
ses von der ersten Speicheranordnung 2A an die zweite Speicheranordnung 2B abgege-
ben.
15

Somit ist in Figur 6 ein kompletter Arbeitszyklus der erfindungsgemäßen Wärmekraftma-
schine gezeigt. In dem folgenden Arbeitszyklus wird dieser wiederholt. Jedoch befinden
sich die beiden Speicheranordnungen zu Beginn des Arbeitszyklus in entsprechend kom-
plementären Zuständen Z_1 bzw. Z_3 . Die Kolbenstange bewegt sich während eines Zyklus
20 von einer Extremstellung zur anderen Extremstellung, genauer gesagt in der Figur 1 von
links nach rechts oder von rechts nach links. In der Figur 1 ist dabei die Kolbenstange mit
einer Kurbelwelle verbunden, welche sich während eines Arbeitszyklus um 180° Kurbel-
winkel bewegt.

Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit, umfassend

einer ersten Speicheranordnung (2A) für ein Arbeitsgas, wobei diese in eine erste kalte (3A) und eine erste warme (4A) Kammer unterteilt ist, und

eine erste bewegliche Kolbenanordnung (5A) derart ausgeführt ist, dass sie das Gesamtvolumen der ersten Speicheranordnung (2A) verändert und das Arbeitsgas zwischen den beiden ersten Kammern (3A, 4A) hin- und herdrückt,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Wärmekraftmaschine (1) eine zweite Speicheranordnung (2B) für das Arbeitsgas umfasst, wobei diese in eine zweite kalte (3B) und eine zweite warme (4B) Kammer unterteilt ist, und

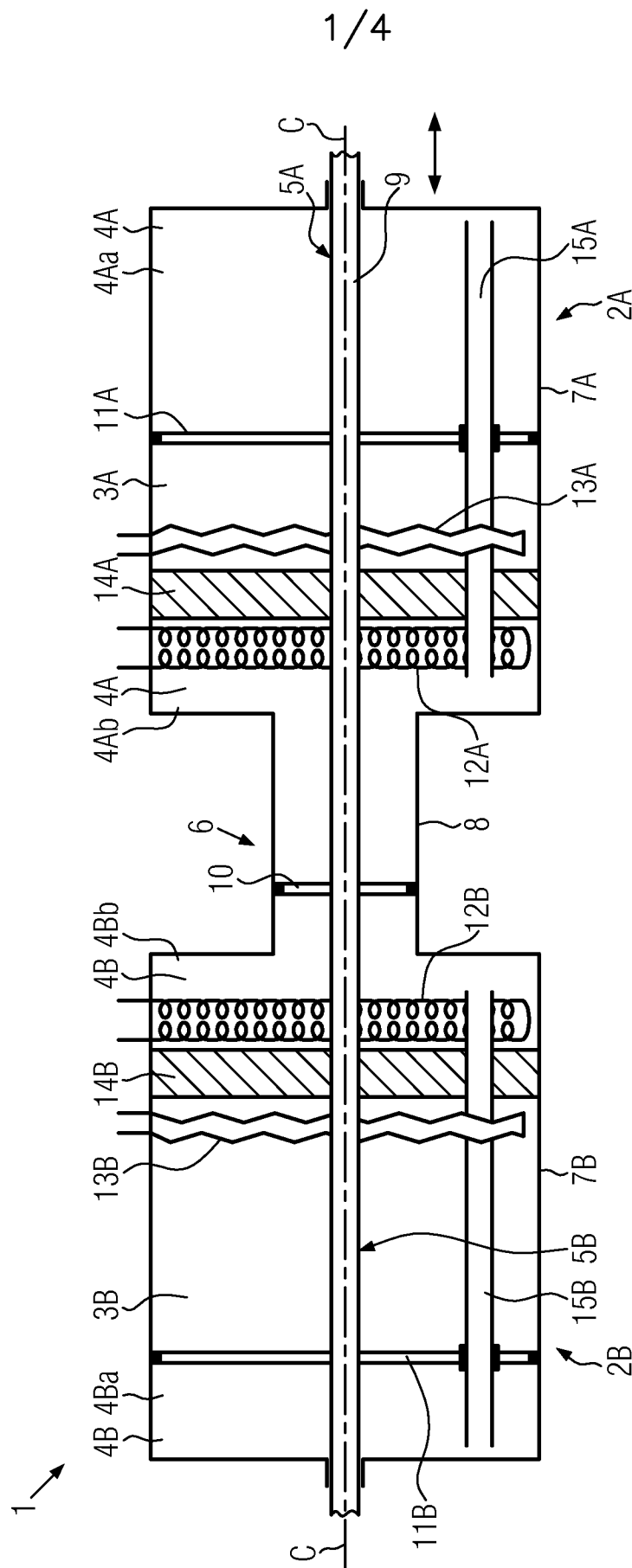
eine zweite bewegliche Kolbenanordnung (5B) derart ausgeführt ist, dass sie das Gesamtvolumen der zweiten Speicheranordnung (2B) verändert und das Arbeitsgas zwischen den beiden zweiten Kammern (3B, 4B) hin- und herdrückt, und dass

eine Verbindung (6) zwischen der ersten und der zweiten Speicheranordnung (2A, 2B) dafür vorgesehen ist, dass zumindest während einer vordefinierten Konstellation der beiden Kolbenanordnungen (5A, 5B) eine Teilmenge des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) ausgetauscht wird.
2. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 1, wobei die Verbindung (6) der beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) so ausgeführt ist, dass beim Austausch eine Teilmenge des Arbeitsgases aus der warmen Kammer (4A, 4B) der einen Speicheranordnung (2A, 2B) zu der kalten Kammer der anderen Speicheranordnung (2B, 2A) fließt.
3. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 1 oder 2, wobei die erste und die zweite Speicheranordnung (2A, 2B) als erster und zweiter Verdrängungszyylinder (7A, 7B) ausgeführt sind.

4. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Verbindung (6) zwischen den Speicheranordnungen (2A, 2B) einen Arbeitszylinder (8) umfasst, der insbesondere dazu geeignet ist, das Gesamtvolumen der beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) zu verändern.
5. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 3 und 4, wobei die Verdrängungszylinder (7A, 7B) und der Arbeitszylinder (8) auf einer gemeinsamen Achse (C-C) angeordnet sind.
6. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die beiden Kolbenanordnungen (5A, 5B) eine Kolbenstange (9) umfassen, auf der ein Arbeitskolben (10) und zwei Verdrängungskolben (11A, 11B) angeordnet sind.
7. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) jeweils einen Erhitzer (12A, 12B) und einen Kühler (13A, 13B) umfassen, die dazu geeignet sind dem Arbeitsgas Wärmeenergie zu- oder abzuführen.
8. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 7, wobei der Kühler (13A, 13B) und/oder der Erhitzer (12A, 12B) so angeordnet sind, dass das Arbeitsgas diese beim Wechsel zwischen der kalten (3A, 3B) und der warmen (4A, 4B) Kammer durchläuft.
9. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 7 oder 8, wobei zwischen dem Erhitzer (12A, 12B) und dem Kühler (13A, 13B) jeweils ein Regenerator (14A, 14B) angeordnet ist, der dazu geeignet ist Wärme aus dem Arbeitsgas zu speichern.
10. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die warme Kammer (4A, 4B) in zwei Teilkammern (4Aa, 4Ba, 4Ab, 4Bb) unterteilt ist, die über einen Verbindungskanal (15A, 15B) miteinander verbunden sind.
11. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Wärmekraftmaschine (1) ein Schwung-

rad und/oder eine Feder umfasst, die insbesondere mit der ersten und/oder der zweiten Kolbenanordnung (5A, 5B) verbunden ist.

12. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1), wobei in einem Arbeitszyklus
 - (1) in einer ersten Speicheranordnung (2A, 2B) ein Volumen V_1 eines Arbeitsgases mit der Masse $m_1 + \Delta m$ ausgehend von einer Temperatur T_{11} und einem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen $V_1 + \Delta V_1$ so expandiert und erwärmt wird, dass danach die Temperatur T_{12} größer ist als T_{11} und der Druck p_2 größer ist als der Ausgleichsdruck p_m , und
 - (2) in einer zweiten Speicheranordnung (2A, 2B) ein Volumen $V_2 + \Delta V_2$ eines Arbeitsgases mit der Masse m_2 ausgehend von einer Temperatur T_{22} und dem Ausgleichsdruck p_m zu einem Volumen V_2 so komprimiert und gekühlt wird, dass danach die Temperatur T_{21} kleiner ist als T_{22} und der Druck p_1 kleiner ist als der Ausgleichsdruck p_m , und
 - (3) eine Verdichtung in der ersten Speicheranordnung (2A) und eine Expansion in der zweiten Speicheranordnung (2B) derart erfolgt, dass danach in beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) der gleiche Ausgleichsdruck p_m des Arbeitsgases vorliegt, wobei bevorzugt die beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) dabei so miteinander verbunden werden, dass eine Masse Δm des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) ausgetauscht wird.
13. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1) nach Anspruch 12, wobei die Prozessschritte (1) und (2) gleichzeitig ablaufen.
14. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1) nach Anspruch 12 oder 13, wobei $T_1 = T_{11} = T_{21}$, $T_2 = T_{12} = T_{22}$, $V = V_1 = V_2$ und $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$ gilt.



2/4

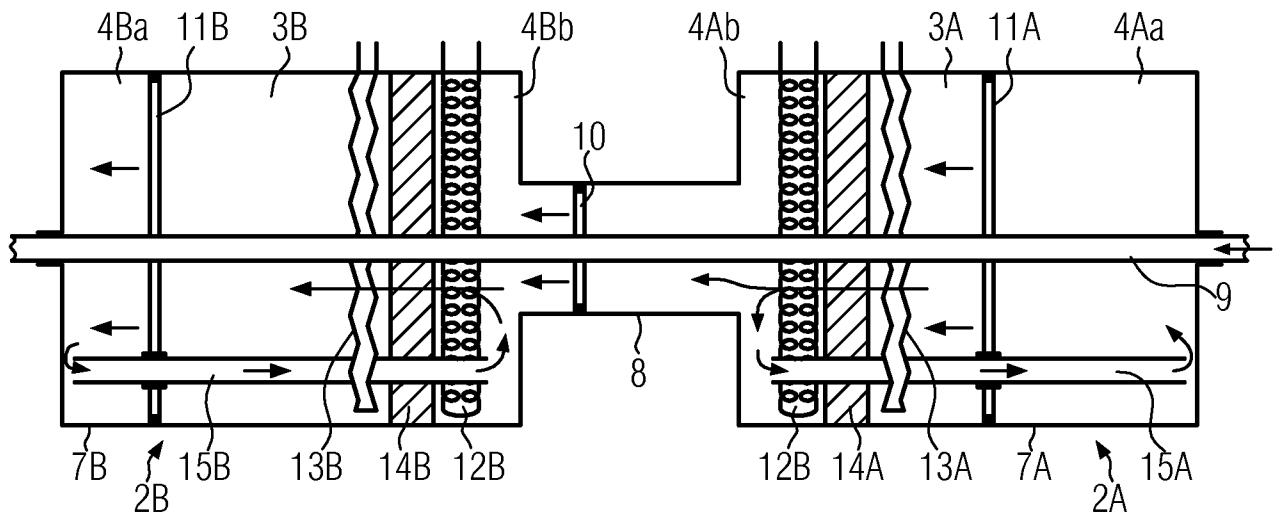


FIG. 2

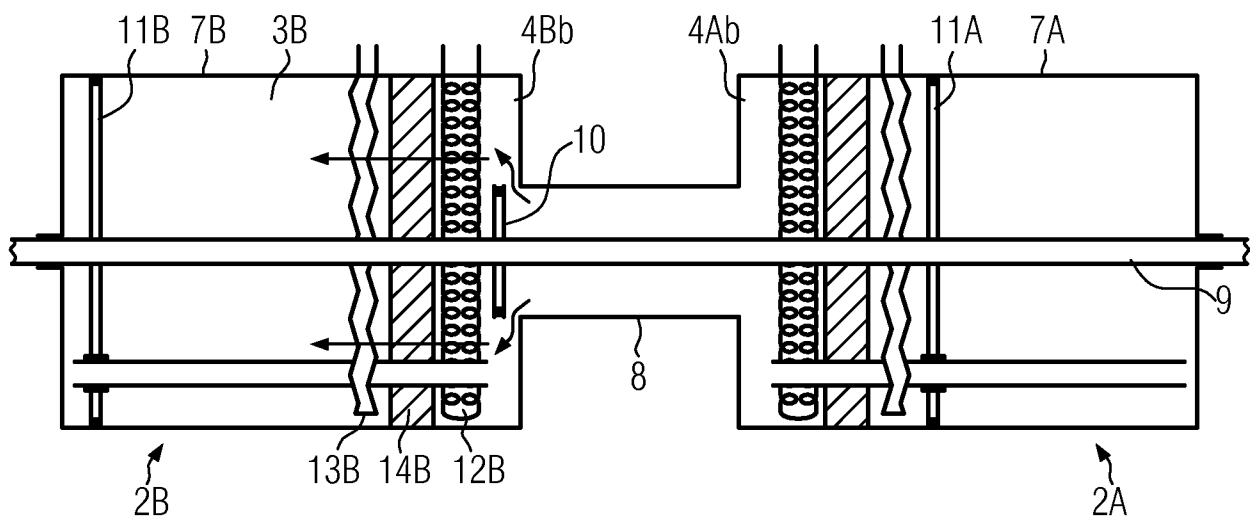


FIG. 3

3/4

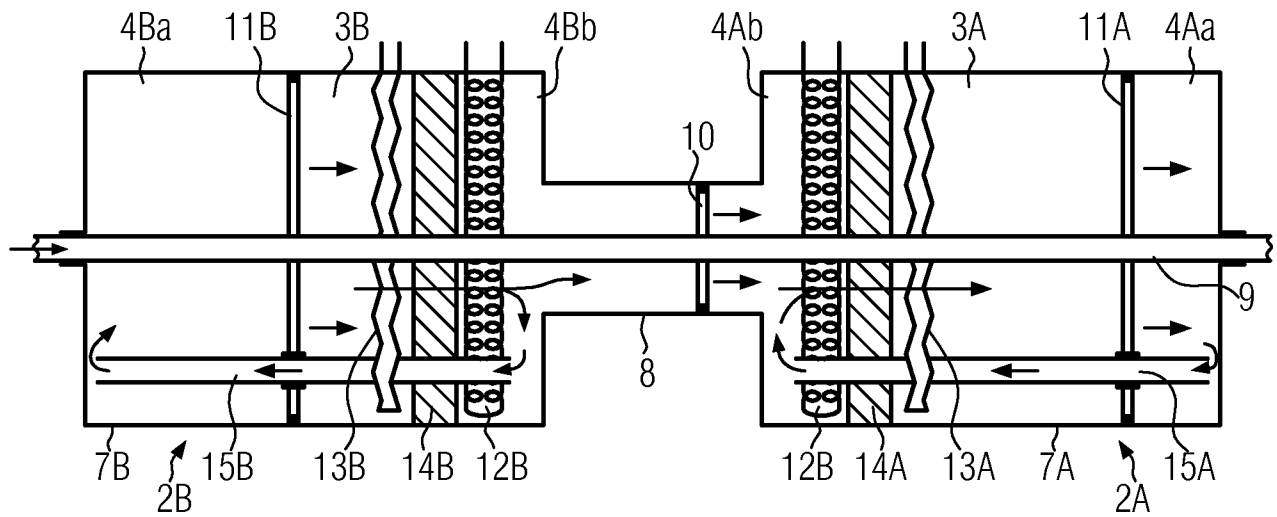


FIG. 4

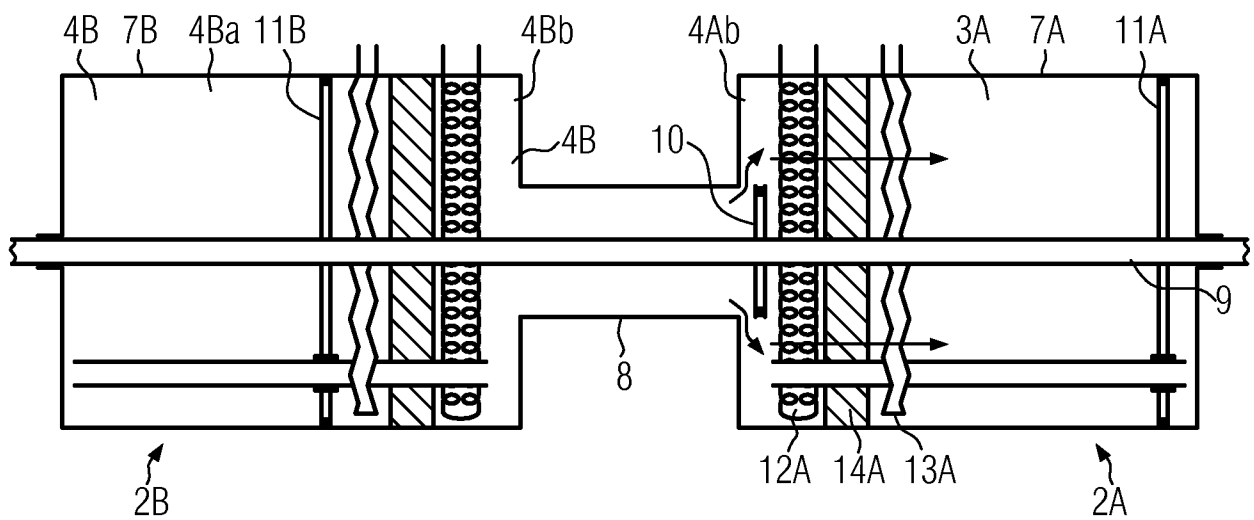


FIG. 5

4/4

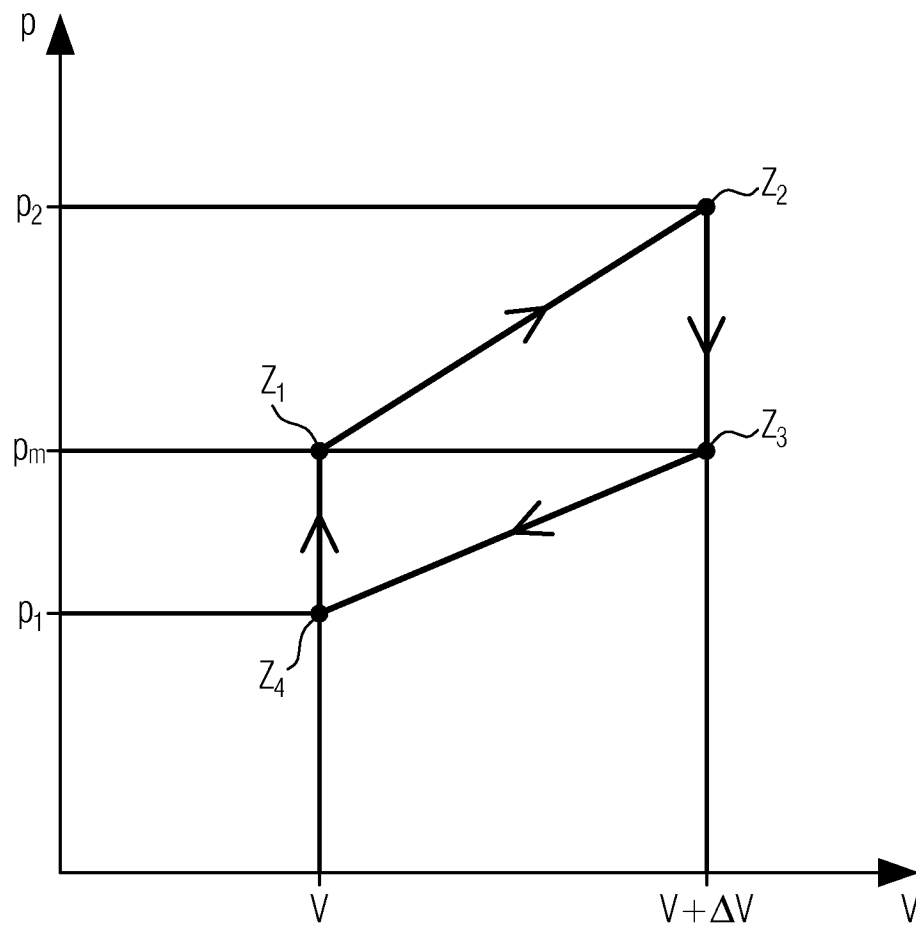


FIG. 6