

(19)



(11)

**EP 2 880 294 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**19.10.2016 Patentblatt 2016/42**

(51) Int Cl.:  
**F02G 1/043<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **13745126.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2013/066457**

(22) Anmeldetag: **06.08.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2014/023722 (13.02.2014 Gazette 2014/07)**

(54) **WÄRMEKRAFTMASCHINE UND THERMODYNAMISCHER KREISPROZESS ZUR UMWANDLUNG VON WÄRME IN NUTZARBEIT**

HEAT ENGINE AND THERMODYNAMIC CYCLE FOR CONVERTING HEAT INTO USEFUL WORK

MOTEUR THERMIQUE ET CYCLE THERMODYNAMIQUE DESTINÉS À CONVERTIR DE LA CHALEUR EN TRAVAIL UTILE

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

(30) Priorität: **06.08.2012 DE 102012213878**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.06.2015 Patentblatt 2015/24**

(73) Patentinhaber: **Majoros, István**  
**6300 Zug (CH)**

(72) Erfinder: **Majoros, István**  
**6300 Zug (CH)**

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG mbB**  
**Leopoldstraße 4**  
**80802 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2012/062231 DE-U1-202008 001 920**  
**US-A- 3 183 662 US-A1- 2011 314 805**

**EP 2 880 294 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach den Merkmalen des Oberbegriffs von Patentanspruch 1 und einen thermodynamischen Kreisprozess.

**[0002]** 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.

**[0003]** 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.

**[0004]** 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.

**[0005]** 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.

**[0006]** 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 wodurch auch hier der Wirkungsgrad vermindert wird.

**[0007]** Ferner offenbart die DE 202008001920 U1 eine Stirlingmaschine mit Gegenstrom Wärmeübertrager.

**[0008]** 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.

**[0009]** 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, 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 wird, wobei die Verbindung zwischen den Speicheranordnungen einen Arbeitszylinder umfasst, der insbesondere dazu geeignet ist, das Gesamtvolumen der beiden Speicheranordnungen zu verändern.

**[0010]** 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 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 Druckausgleich wird eine Masse  $\Delta m$  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 Speicheranordnung 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.

**[0011]** 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 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 zweiatomiges 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.

**[0012]** 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 300 K, insbesondere in einem Bereich von 50 K bis 150 K liegen. Die Wärmekraftmaschine kann so ausgeführt sein, dass das Arbeitsgas in den beiden Speicheranordnungen hermetisch eingeschlossen ist.

**[0013]** 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. 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.

**[0014]** Vorteilhafterweise kann die erste und die zweite Speicheranordnung als erster und zweiter Verdrängungszylinder ausgeführt sein.

**[0015]** 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 verändert. Die Kolbenanordnung kann so ausgeführt sein, dass diese die Speicheranordnung in die kalte und die warme Kammer unterteilt.

**[0016]** Gemäß der Erfindung umfasst die Verbindung zwischen den beiden Speicheranordnungen einen Arbeitszylinder, der insbesondere dazu geeignet ist, das Gesamtvolumen der beiden Speicheranordnungen zu verändern. Dadurch, dass die Verbindung als Arbeitszylinder ausgeführt ist, 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 Ver-

änderung des Gesamtvolumens der beiden Speicheranordnungen durch den Arbeitszylinder bewirkt und das Hin- und Herdrücken des Arbeitsgases zwischen den beiden Kammern durch die Verdrängungskolben. Dies erlaubt eine entsprechend einfache Umsetzung der Mechanik der Wärmekraftmaschine.

**[0017]** 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.

**[0018]** 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 besonders einfache Konstruktion der Kolbenanordnungen.

**[0019]** 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.

**[0020]** 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.

**[0021]** 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.

**[0022]** 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.

**[0023]** 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 zwischenzuspeichern 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.

**[0024]** 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 Expansion in der ersten Speicheranordnung und eine Verdichtung 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  $\Delta m$  des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen ausgetauscht wird.

**[0025]** Dabei können der erste und der zweite Prozessschritt gleichzeitig ablaufen.

**[0026]** 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 Verdichtung in der ersten Speicheranordnung und eine Expansion 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  $\Delta m$  des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen ausgetauscht wird. Dabei können der vierte und der fünfte Prozessschritt gleichzeitig ablaufen.

**[0027]** Falls kein Austausch einer Masse  $\Delta m$  zwischen beiden Speicheranordnungen erfolgt, dann erfolgt die Verdichtung ganz mechanisch. Dabei ist insbesondere die Masse des Arbeitsgases in beiden Speicheranordnungen gleich.

**[0028]** 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  $p_{22} = p_2$ .

**[0029]** 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.

**[0030]** 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;

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;

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 Kreisprozesses.

**[0031]** 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 beweg-

liche 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.

**[0032]** 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 11 A und 11 B 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.

**[0033]** 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 11 A, 11 B 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 gelangen und von dort über den Verbindungskanal 15A, 15B in die andere Teilkammer 4Aa, 4Ba. Ebenso kann dieser Vorgang umgekehrt erfolgen.

**[0034]** 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 Speicher-

anordnung 2A verkleinert bzw. das der Speicheranordnung 2B vergrößert.

**[0035]** Die Kolbenstange ist mit einer Kurbelwelle verbunden, auf der ein Schwungrad gelagert ist (hier nicht dargestellt), das einen Teil der vom Arbeitsgas geleisteten Arbeit zwischenspeichern kann.

**[0036]** 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.

**[0037]** 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 Verdrängungszylinders 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. Gleichermaßen 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.

**[0038]** 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. Dies bewirkt eine Kraft auf den Arbeitskolben 10, wodurch die eigentliche Nutzarbeit vom Arbeitsgas verrichtet wird und über den Arbeitskolben 10 abgeleitet werden kann.

**[0039]** In der zweiten Speicheranordnung 2B bewegt sich im Verdrängungszylinder 7B der Verdrängungskolben 11 B ebenfalls nach links, da er ebenfalls fest mit der Kolbenstange 9 verbunden ist. Somit verkleinert sich das Volumen der warmen Teilkammer 4Ba und das 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** Kurz bevor die Kolben 11A, 10, 11 B ihre Extremstellung in Figur 2 links erreicht haben, 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  $V$ .

**[0042]** 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 warmen Arbeitsgases mit der Masse  $\Delta m$  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  $\Delta m$  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  $\Delta m$  des Arbeitsgases dort zu verdichten.

**[0043]** 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 11 A, 11 B, sowie der Arbeitskolben 10.

**[0044]** Dadurch, dass sich der Verdrängungskolben 11 A in der ersten Speicheranordnung 2A sich 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.

**[0045]** 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.

**[0046]** Gleichzeitig wird in der zweiten Speicheranordnung 2B im Verdrängungszylinder 7B durch die Bewegung des Verdrängungskolbens 11 B 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 Gesamtvolumen der zweiten Speicheranordnung 2B durch die Bewegung des Arbeitskolbens 10 in dem Arbeitszylinder 8 vergrößert.

**[0047]** 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  $p_2$ .

**[0048]** 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 11 A, 10, 11 B 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.

**[0049]** Hierbei wird wiederum ein Druckausgleich zwischen beiden Speicheranordnungen 2A, 2B erzielt und eine Teilmenge des Arbeitsgases mit der Masse  $\Delta m$  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 kühle Kammer 3A und wird dabei abgekühlt. Somit wird die Gasimpressionsarbeit  $q_1 \Delta V_1 = T_2 \times \Delta m$  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  $p_m$ .

**[0050]** In Figur 6 ist ein p-V-Diagramm eines Zyklus des thermodynamischen Kreisprozesses 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.

**[0051]** 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 Folge ergibt sich ein höherer Druck des Arbeitsgases  $p_2$  und das Arbeitsgas befindet sich somit im Zustand  $Z_2$ .

**[0052]** 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 10 in dem Arbeitszylinder 8 erfolgt eine Verkleinerung des Gesamtvolumens 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 Zustandsänderung einen niedrigeren Druck  $p_1$  auf.

**[0053]** 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  $\Delta m$  des Arbeitsgases von der ersten Speicheranordnung 2A an die zweite Speicheranordnung 2B abgegeben.

**[0054]** Somit ist in Figur 6 ein kompletter Arbeitszyklus der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine gezeigt. In dem folgenden Arbeitszyklus wird dieser wiederholt. Jedoch befinden sich die beiden Speicheranordnungen zu Beginn des Arbeitszyklus in entsprechend komplementären Zuständen  $Z_1$  bzw.  $Z_3$ . Die Kolbenstange bewegt sich während eines Zyklus 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  $180^\circ$  Kurbelwinkel 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, wobei die Wärmekraftmaschine (1) eine zweite Speicheranordnung (2B) für das Arbeitsgas umfasst, und 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 wobei 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, **dadurch gekennzeichnet, dass** 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.

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 Verdrängungszylinder (7A, 7B) ausgeführt sind.
4. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 3, wobei die Verdrängungszylinder (7A, 7B) und der Arbeitszylinder (8) auf einer gemeinsamen Achse (C-C) angeordnet sind.
5. 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, 11 B) angeordnet sind.
6. 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.
7. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 6, 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.

8. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach Anspruch 6 oder 7, 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.
9. 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.
10. Wärmekraftmaschine (1) zur Umwandlung von Wärme in Nutzarbeit nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Wärmekraftmaschine (1) ein Schwungrad und/oder eine Feder umfasst, die insbesondere mit der ersten und/oder der zweiten Kollenanordnung (5A, 5B) verbunden ist.
11. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1), wobei in einem Arbeitszyklus
- (1) in einer ersten Speicheranordnung (2A) 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 (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 Expansion in der ersten Speicheranordnung (2A) und eine Verdichtung 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  $\Delta m$  des Arbeitsgases zwischen beiden Speicheranordnungen (2A, 2B) ausgetauscht wird.
12. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1) nach Anspruch 11, wobei die Prozessschritte (1) und (2) gleichzeitig ablaufen.
13. Thermodynamischer Kreisprozess für eine Wärmekraftmaschine (1) nach Anspruch 11 oder 12, wobei  $T_1 = T_{11} = T_{21}$ ,  $T_2 = T_{12} = T_{22}$ ,  $V = V_1 = V_2$  und  $\Delta V$

$$= \Delta V_1 = \Delta V_2 \text{ gilt.}$$

## Claims

- Heat engine (1) for converting heat into useful work, comprising  
a first storage arrangement (2A) for a working gas, where it is divided into a first cold (3A) and a first warm (4A) chamber, and  
a first movable piston arrangement (5A) is configured such that it changes the overall volume of said first storage arrangement (2A) and presses said working gas to and fro between said two first chambers (3A, 4A),  
wherein said heat engine (1) comprises a second storage arrangement (2B) for said working gas, and wherein the latter is divided into a second cold (3B) and a second warm (4B) chamber, and  
a second movable piston arrangement (5B) is configured in such a way that it changes the overall volume of said second storage arrangement (2B) and presses said working gas to and from between said two second chambers (3B, 4B), and  
wherein a connection (6) between said first and said second storage arrangement (2A, 2B) is provided for a part quantity of said working gas to be exchanged between said two storage arrangements (2A, 2B) at least during a predefined constellation of said two piston arrangements (5A, 5B),  
**characterized in that**  
said connection (6) between said storage arrangements (2A, 2B) comprises a working cylinder (8) which is in particular adapted to change the overall volume of said two storage arrangements (2A, 2B).
- Heat engine (1) for converting heat to useful work according to claim 1, wherein said connection (6) of said two storage arrangements (2A, 2B) is configured such that a part quantity of said working gas during said exchange flows from said warm chamber (4A, 4B) of said one storage arrangement (2A, 2B) to said cold chamber of said other storage arrangement (2B, 2A).
- Heat engine (1) for converting heat to useful work according to claim 1 or 2, wherein said first and said second storage arrangement (2A, 2B) are configured as a first and a second displacement cylinder (7A, 7B).
- Heat engine (1) for converting heat to useful work according to claims 3, wherein said displacement cylinders (7A, 7B) and said working cylinder (8) are disposed on a common axis (C-C).
- Heat engine (1) for converting heat to useful work according to one of the preceding claims, wherein

said two piston arrangements (5A, 5B) comprise a piston rod (9) on which a working piston (10) and two displacement pistons (11A, 11 B) are disposed.

6. Heat engine (1) for converting heat to useful work according to one of the preceding claims, wherein said two storage arrangements (2A, 2B) each comprise a heater (12A, 12B) and a radiator (13A, 13B) which are adapted to supply thermal energy to or dissipate it from said working gas.
7. Heat engine (1) for converting heat to useful work according to claim 6, wherein said radiator (13A, 13B) and/or said heater (12A, 12B) are arranged such that said working gas passes through them when being exchanged between said cold (3A, 3B) and said warm (4A, 4B) chamber.
8. Heat engine (1) for converting heat to useful work according to claim 6 or 7, wherein a regenerator (14A, 14B) is respectively disposed between said heater (12A, 12B) and said radiator (13A, 13B) and is adapted to store heat from said working gas.
9. Heat engine (1) for converting heat to useful work according to one of the preceding claims, wherein said warm chamber (4A, 4B) is divided into two partial chambers (4Aa, 4Ba, 4Ab, 4Bb) which are connected to each other via a connection channel (15A, 15B).
10. Heat engine (1) for converting heat to useful work according to one of the preceding claims, wherein said heat engine (1) comprises a flywheel and/or a spring which is in particular connected to said first and/or said second piston arrangement (5A, 5B).
11. Thermodynamic cycle for a heat engine (1), wherein in one cycle
  - a volume  $V_1$  of a working gas having the mass  $m_1 + \Delta m$  in a first storage arrangement (2A), starting out from a temperature  $T_{11}$  and an equalization pressure  $p_m$ , is expanded and heated to a volume  $V_1 + \Delta V_1$  such that thereafter the temperature  $T_{12}$  is greater than  $T_{11}$  and the pressure  $p_2$  is greater than said equalization pressure  $p_m$ , and
  - a volume  $V_2 + \Delta V_2$  of a working gas having the mass  $m_2$  in a second storage arrangement (2B), starting out from a temperature  $T_{22}$  and the equalization pressure  $p_m$ , is compressed and cooled to a volume  $V_2$  such that thereafter the temperature  $T_{21}$  is smaller than  $T_{22}$  and the pressure  $p_1$  is smaller than the equalization pressure  $p_m$ , and an expansion in said first storage arrangement (2A) and a compression in said second storage arrangement (2B) occurs such that thereafter the same equalization pressure  $p_m$  of said working gas is given in both storage arrangements (2A, 2B), where preferably said two stor-

age arrangements (2A, 2B) are there connected to each other such that a mass  $\Delta m$  of said working gas is exchanged between said two storage arrangements (2A, 2B).

12. Thermodynamic cycle for a heat engine (1) according to claim 11, wherein the process steps (1) and (2) run simultaneously.
13. Thermodynamic cycle for a heat engine (1) according to claim 11 or 12, wherein it is true that  $T_1 \Delta V_1 = T_{11} \Delta V_1 = T_{21}$ ,  $T_2 = T_{12} = T_{22}$ ,  $V \Delta V_1 = V_1 = V_2$  and  $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$ .

## Revendications

1. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, comprenant
  - un premier agencement d'accumulateur (2A) pour un gaz de travail, qui est subdivisé en une première chambre froide (3A) et une première chambre chaude (4A), et
  - un premier agencement de piston mobile (5A), qui est conçu de manière à faire varier le volume global du premier agencement d'accumulateur (2A), et pour refouler en va et vient le gaz de travail entre les deux premières chambres (3A, 4A),
  - le moteur thermique (1) comprenant un deuxième agencement d'accumulateur (2B) pour le gaz de travail, qui est subdivisé en une deuxième chambre froide (3B) et une deuxième chambre chaude (4B), et un deuxième agencement de piston mobile (5B), qui est conçu de manière à faire varier le volume global du deuxième agencement d'accumulateur (2B), et pour refouler en va et vient le gaz de travail entre les deux deuxièmes chambres (3B, 4B),
  - et une liaison (6) est prévue entre le premier et le deuxième agencement d'accumulateur (2A, 2B) pour que pendant au moins une constellation prédéterminée des deux agencements de piston (5A, 5B), une quantité partielle du gaz de travail soit échangée entre les deux agencements d'accumulateur (2A, 2B),
  - caractérisé en ce que** la liaison (6) entre les agencements d'accumulateur (2A, 2B) comprend un cylindre de travail (8), qui est notamment adapté à faire varier le volume global des deux agencements d'accumulateur (2A, 2B).
2. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon la revendication 1, dans lequel la liaison (6) des deux agencements d'accumulateur (2A, 2B) est réalisée de manière à ce que lors de l'échange, une quantité partielle du gaz de travail s'écoule de la chambre chaude (4A, 4B) d'un agencement d'accumulateur (2A, 2B) vers la chambre froide de l'autre agencement d'accumulateur

(2A, 2B).

3. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le premier et le deuxième agencement d'accumulateur (2A, 2B) sont réalisés sous la forme d'un premier et d'un deuxième cylindre volumétrique (7A, 7B). 5
4. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile selon la revendication 3, dans lequel les cylindres volumétriques (7A, 7B) et le cylindre de travail (8) sont agencés sur un axe (C-C) commun. 10
5. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les deux agencements de piston (5A, 5B) comportent une tige de piston (9), sur laquelle sont agencés un piston de travail (10) et deux pistons volumétriques (11A, 11B). 15
6. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les deux agencements d'accumulateur (2A, 2B) comprennent chacun un réchauffeur (12A, 12B) et un refroidisseur (13A, 13B), qui sont adaptés à amener de l'énergie calorifique au gaz de travail ou à lui en retirer. 20
7. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon la revendication 6, dans lequel le refroidisseur (13A, 13B) et/ou le réchauffeur (12A, 12B) sont agencés de manière telle que le gaz de travail s'écoule à travers eux lors de l'échange entre la chambre froide (3A, 3B) et la chambre chaude (4A, 4B). 25
8. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon la revendication 6 ou la revendication 7, dans lequel entre le réchauffeur (12A, 12B) et le refroidisseur (13A, 13B) est agencé respectivement un régénérateur (14A, 14B) qui est adapté à stocker de la chaleur en provenance du gaz de travail. 30
9. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la chambre chaude (4A, 4B) est subdivisée en deux chambres partielles (4Aa, 4Ba, 4Ab, 4Bb), qui sont reliées mutuellement par l'intermédiaire d'un canal de liaison (15A, 15B). 35
10. Moteur thermique (1) destiné à convertir de la chaleur en travail utile, selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le moteur thermique (1) comprend un volant d'inertie et/ou un ressort, qui est relié notamment au premier et/ou au deuxième 40

agencement de piston (5A, 5B).

11. Cycle thermodynamique destiné à un moteur thermique (1), pour lequel au cours d'un cycle de travail 5
  - (1) dans un premier agencement d'accumulateur (2A), un volume  $V_1$  d'un gaz de travail d'une masse  $m_1 + \Delta m$  est détendu et échauffé à partir d'une température  $T_{11}$  et d'une pression moyenne d'équilibre  $p_m$ , jusqu'à un volume  $V_1 + \Delta V_1$ , de manière telle qu'ensuite la température  $T_{12}$  soit supérieure à  $T_{11}$ , et que la pression  $p_2$  soit supérieure à la pression moyenne d'équilibre  $p_m$ , et 10
  - (2) dans un deuxième agencement d'accumulateur (2B), un volume  $V_2 + \Delta V_2$  d'un gaz de travail d'une masse  $m_2$  est comprimé et refroidi à partir d'une température  $T_{22}$  et de la pression moyenne d'équilibre  $p_m$ , jusqu'à un volume  $V_2$ , de manière telle qu'ensuite la température  $T_{21}$  soit inférieure à  $T_{22}$ , et que la pression  $P_1$  soit inférieure à la pression moyenne d'équilibre  $p_m$ , et 15
  - (3) une détente dans le premier agencement d'accumulateur (2A) et une compression dans le deuxième agencement d'accumulateur (2B) s'effectuent de manière telle, qu'ensuite il règne dans les deux agencements d'accumulateur (2A, 2B) la même pression moyenne d'équilibre  $p_m$  du gaz de travail, les deux agencements d'accumulateur (2A, 2B) étant de préférence reliés mutuellement de manière qu'une masse  $\Delta m$  du gaz de travail soit échangée entre les deux agencements d'accumulateur (2A, 2B). 20
12. Cycle thermodynamique destiné à un moteur thermique (1), selon la revendication 11, pour lequel les étapes (1) et (2) du cycle thermodynamique se déroulent simultanément. 25
13. Cycle thermodynamique destiné à un moteur thermique (1), selon la revendication 11 ou la revendication 12, pour lequel on a  $T_1 = T_{11} = T_{21}$ ,  $T_2 = T_{12} = T_{22}$ ,  $V = V_1 = V_2$  et  $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$ . 30

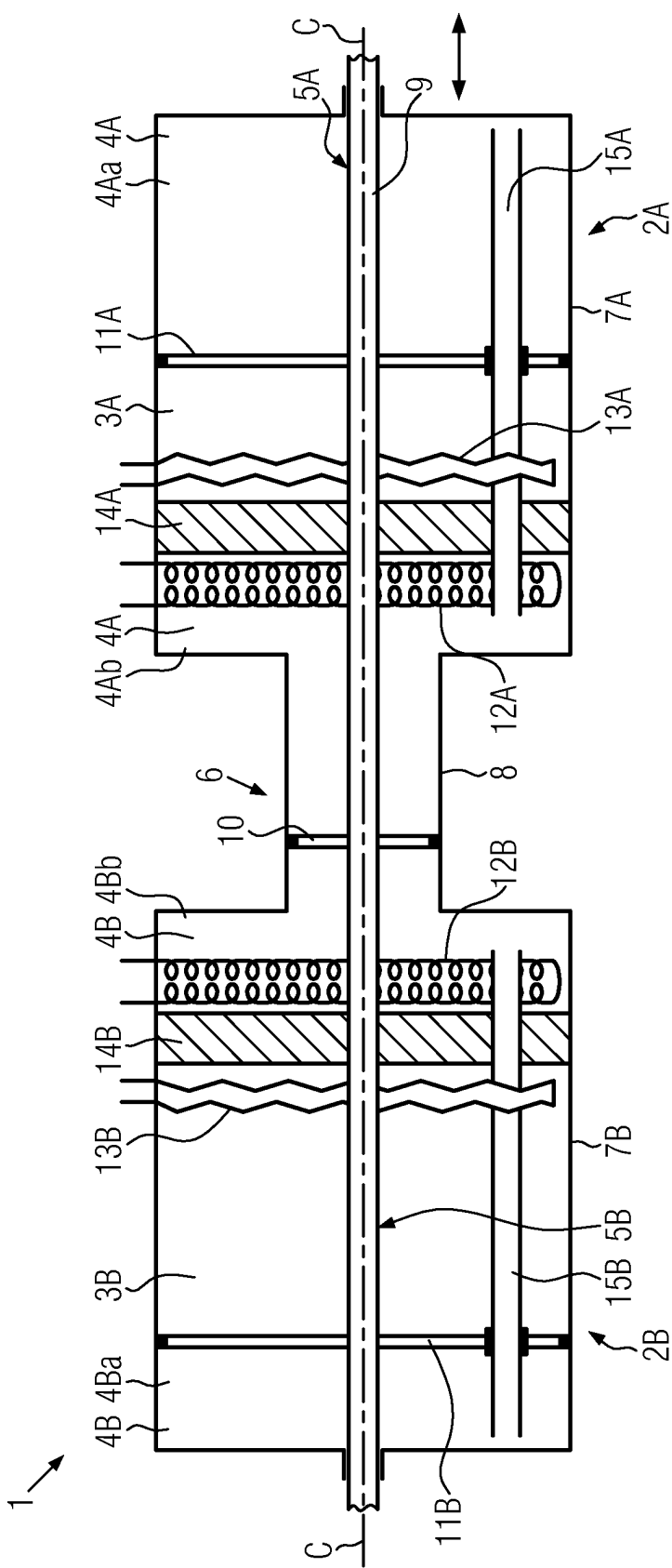


FIG. 1

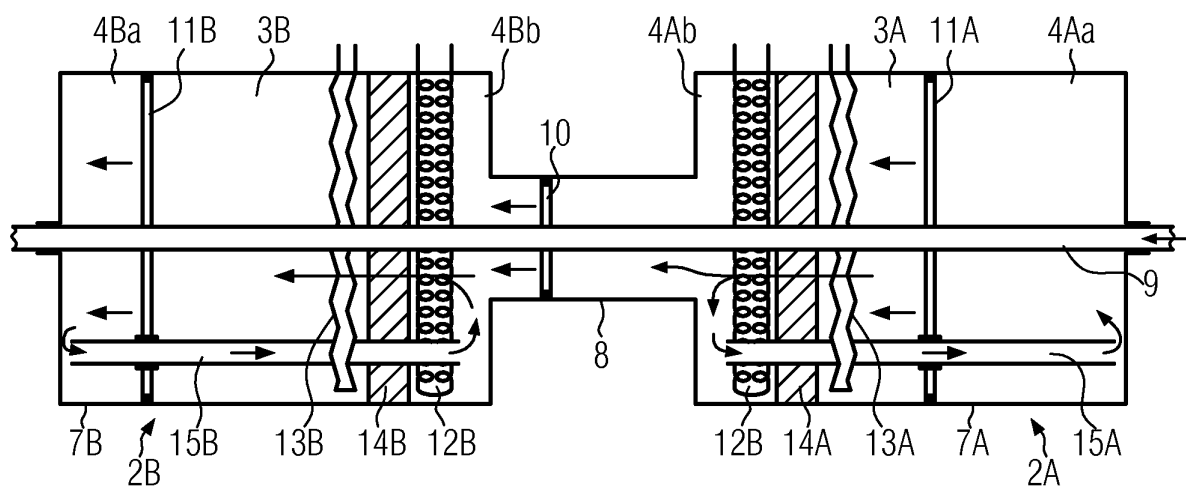


FIG. 2

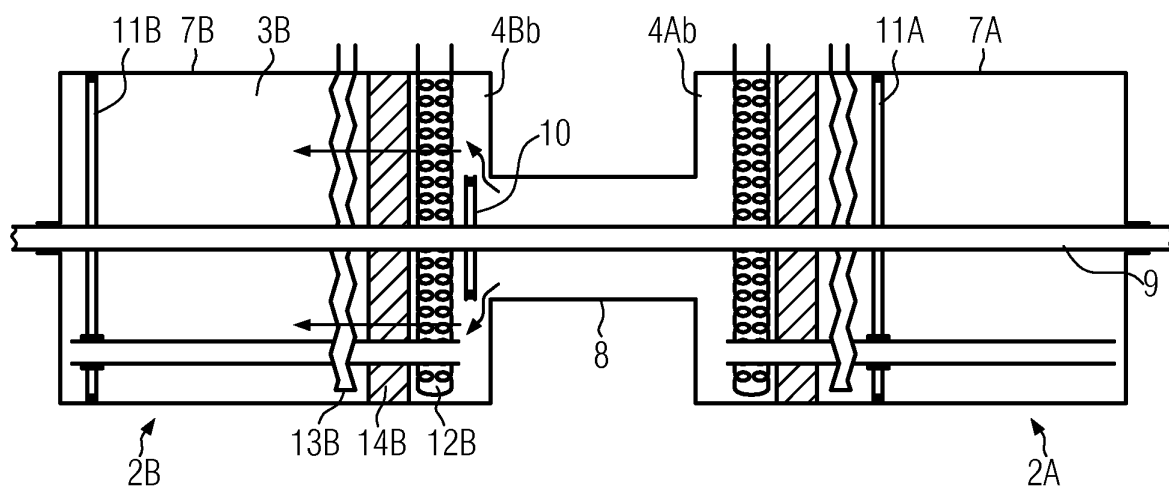


FIG. 3

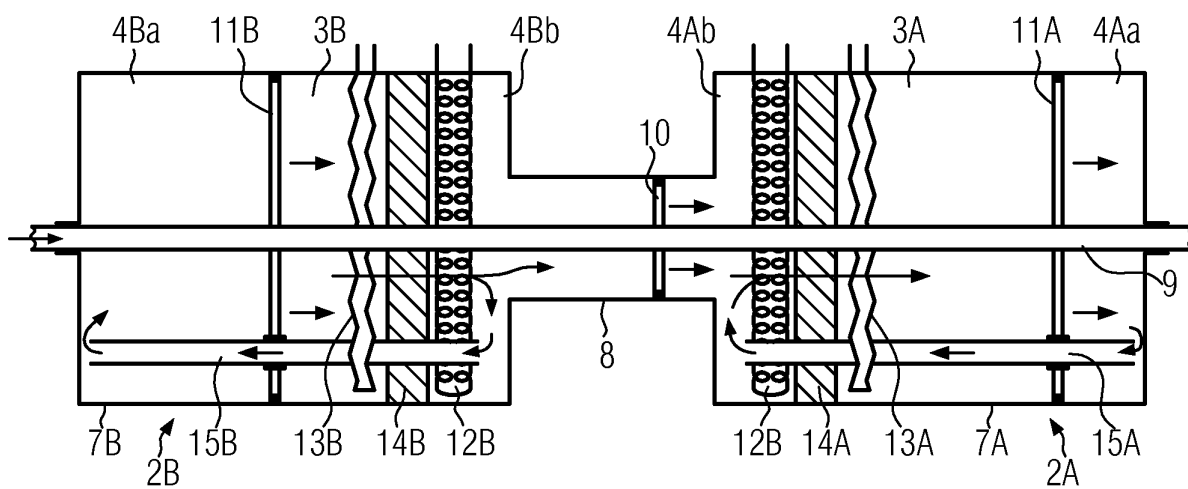


FIG. 4

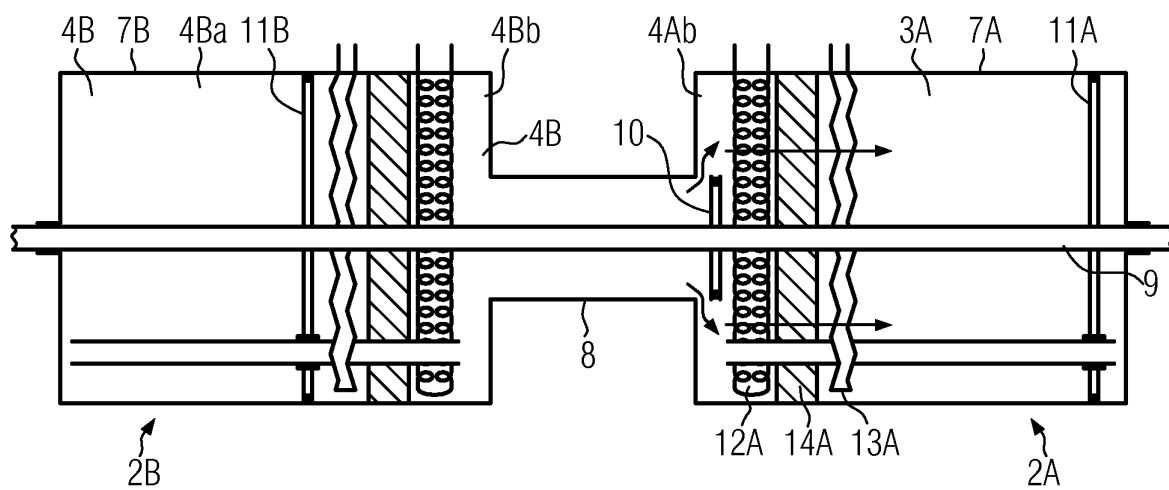


FIG. 5

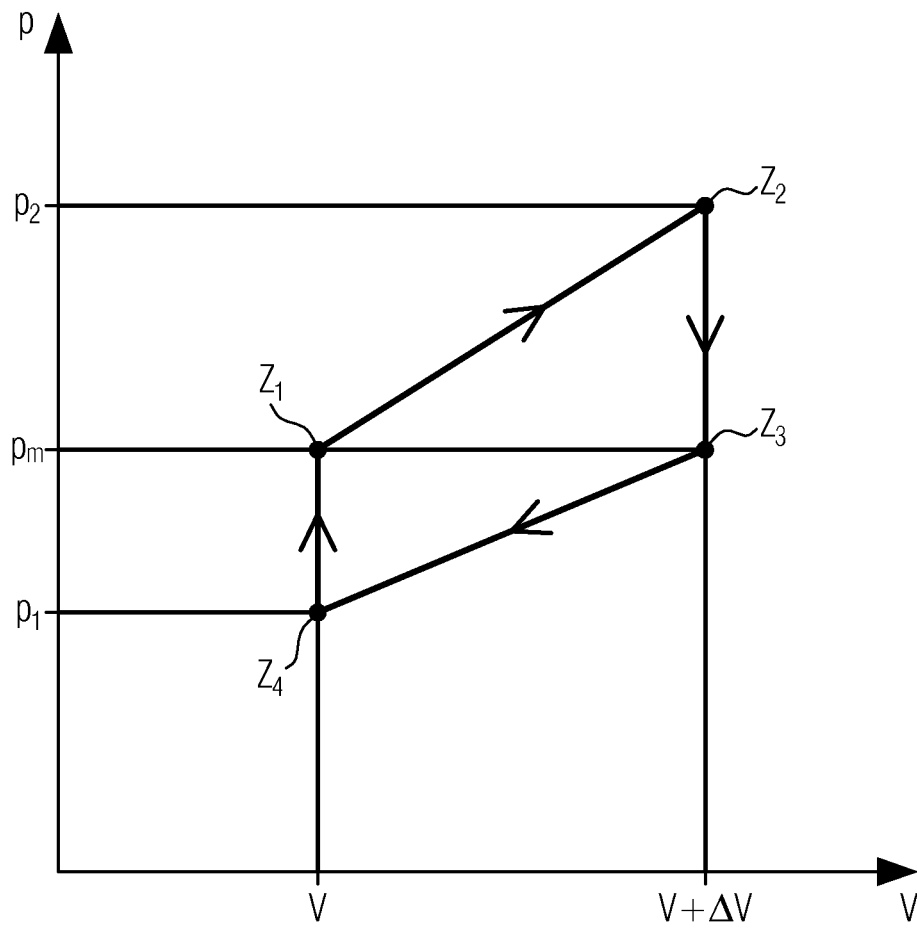


FIG. 6

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 202008001920 U1 [0007]