(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 543 860 A2**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
09.01.2013 Patentblatt 2013/02

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

(21) Anmeldenummer: **12401137.0**

(22) Anmeldetag: **03.07.2012**

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

(30) Priorität: **04.07.2011 DE 102011106466**

(71) Anmelder: **GPI Gesellschaft Für Prüfstanduntersuchungen und Ingenieurdienstleistungen MbH**
08115 Lichtentanne OT Stenn (DE)

(72) Erfinder:
- **Die Erfinder haben auf ihre Nennung verzichtet.**

(74) Vertreter: **Steiniger, Carmen**
Patentanwaltskanzlei Dr. Steiniger
Ricarda-Huch-Strasse 4
09116 Chemnitz (DE)

(54) Wärmekraftmaschine

(57) Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie in Form eines Heißgasmotors. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet stellt die Nutzung von Restwärme zur Verrichtung mechanischer Arbeit dar. Aufgabe der Erfindung ist es, die thermodynamischen Eigenschaften einer derartigen Wärmekraftmaschine weiter zu verbessern, so dass bereits Temperaturunterschiede von kleiner oder gleich 10 Kelvin zur Bereitstellung kinetischer Energie nutzbar sind. Die Aufgabe wird gelöst, indem die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine aus einer Gaskammer besteht, welche an mindestens einer Seite mit einer ersten Wärmetauscheinrichtung in Verbindung steht, die ein kaltes Medium führt sowie einer weiteren Wärmetauscheinrichtung, welche an mindestens einer Seite der Gaskammer gegenüber der ersten Wärmetauscheinrichtung angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt, sowie einer beweglichen Verdrängerplatte, die sich in der Gaskammer befindet. Die Verdrängerplatte umfasst mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator. Mit der Gaskammer ist ein Arbeitszylinder verbunden, in dem ein Arbeitskolben oszilliert. Der Arbeitskolben und die Verdrängerplatte sind über ein Getriebe zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte gekoppelt. Jeder Regenerator ist in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte derart mittig angeordnet, dass die Verdrängerplatte in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist. Die Dichte der Verdrängerplatte ist kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators, wobei die Verdrängerplatte eine größere Festigkeit als der Regenerator sowie eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist.

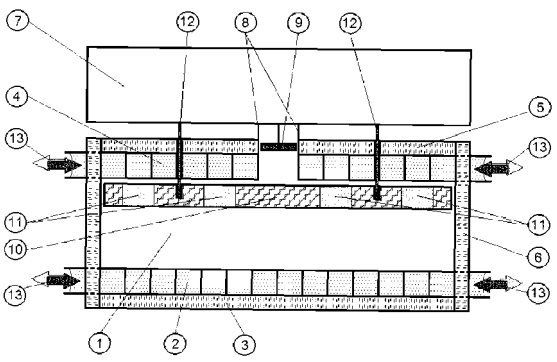


Fig. 1

EP 2 543 860 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärmeenergie in kinetische Energie in Form eines Heißgasmotors. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet stellt die Nutzung von Restwärme zur Verrichtung mechanischer Arbeit dar.

[0002] Heißgasmotoren sind in vielfältiger Ausbildung bekannt, da die konstruktive Ausgestaltung des Motors und seiner Peripherie je nach Aufgabengebiet erfolgt. Die Nutzung von Restwärme zum Antrieb eines Heißgasmotors erfordert, bereits geringe Temperaturunterschiede verwerten zu können, indem die Wärmeverluste minimiert werden. Ein dieses Ziel verfolgender Motor ist aus der Druckschrift DE 30 15 815 A1 bekannt. Es handelt sich um einen Heißgasmotor mit mindestens einer in einem vorzugsweise wärmeisolierten Gehäuse angeordneten Kammer, deren eine Seite erwärmt und die andere Seite gekühlt ist. In der Kammer ist ein Verdränger zwischen den beiden Seiten verschieblich angeordnet und über einen Kurbeltrieb mit einem Motorteil verbunden. Der Verdränger und eine als Schwungrad ausgebildete Arbeitswelle werden von einer als Arbeitskolben fungierenden Membran angetrieben. Der Membranmotor ist seitlich an den Überströmraum angeschlossen Der Antrieb des Verdrängers erfolgt mittels eines dicht mit dem Gehäuse verbundenen, durch eine Drehdurchführung eingeführten Schubstangentriebs, der durch Federvorspannung eine bistabile Lage des Verdrängers an den Seiten der Kammer herbeiführt. Der Verdränger ist plattenförmig ausgebildet und besteht aus wärmeisolierendem Material.

[0003] Die Kammer kann einen Regenerator aufweisen, der seitlich der Flanke oder der Flanken der Verdrängerplatte im Überströmraum angeordnet ist und vorzugsweise aus einer dichten Drahtnetzanordnung besteht. Die Kammer umfasst sowohl entlang der warmen als auch der kalten Seite eine Zwischenwand, sodass der Raum zwischen dieser und der Kammerwand als Strömungskanal für ein warmes bzw. ein kühles Medium genutzt wird, wobei die Zwischenräume über entsprechende Durchgänge und Anschlussmittel für Medienleitungen verfügen.

[0004] Der wesentliche Effekt der bekannten Lösung besteht in einer Erhöhung des Wirkungsgrades, indem durch den bistabil oszillierenden Verdränger eine Verbesserung der isothermischen Situation herbeigeführt wird. Es muss sowohl für die Kompression des kalten Arbeitsgases weniger Arbeit verrichtet werden, und es wird bei der Expansion des heißen Gases mehr kinetische Energie gewonnen als bei kontinuierlich oszillierendem Verdränger, wodurch die Differenz zwischen der bei der Expansion des heißen Arbeitsgases gewonnenen Energie und der zur Kompression des kalten Arbeitsgases erforderlichen Arbeit, d.h. die nutzbare Energie größer wird. Damit kann der Motor bei gleichem Wärmeaufwand mehr Leistung abgeben.

[0005] Daraus ergibt sich die Aufgabe der Erfindung, die thermodynamischen Eigenschaften einer derartigen Wärmekraftmaschine weiter zu verbessern, sodass bereits Temperaturunterschiede von kleiner oder gleich 10 Kelvin zur Bereitstellung kinetischer Energie nutzbar sind.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Wärmekraftmaschine mit den Merkmalen nach Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen ergeben sich anhand der Merkmale der Unteransprüche.

[0007] Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine besteht aus einer Gaskammer, welche an mindestens einer Seite mit einem ersten Wärmetauscher bzw. einer ersten Wärmetauscheinrichtung in Verbindung steht, die ein kaltes Medium führt, sowie einem weiteren Wärmetauscher bzw. einer weiteren Wärmetauscheinrichtung, welche an mindestens einer Seite der Gaskammer gegenüber der ersten Wärmetauscheinrichtung angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt, sowie einer beweglichen Verdrängerplatte, die sich in der Gaskammer befindet. Die Verdrängerplatte umfasst mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator. Mit der Gaskammer ist ein Arbeitszylinder verbunden, in dem ein Arbeitskolben oszilliert. Der Arbeitskolben und die Verdrängerplatte sind über ein Getriebe zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte gekoppelt. Jeder Regenerator ist in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte derart mittig angeordnet, dass die Verdrängerplatte in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist. Die Dichte der Verdrängerplatte ist kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators, wobei die Verdrängerplatte eine größere Festigkeit als der Regenerator sowie eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist.

[0008] Vorteilhaft ausgebildet wird die Erfindung, indem der Regenerator aus einem offenporigen Metallschaum besteht, wobei vorzugsweise der Metallschaum des Regenerators eine zweiteilige Struktur aufweist und diese einerseits gasdurchlässige Abschnitte durch eine offenporige Struktur sowie andererseits geschlossenporige Abschnitte besitzt, in welche ein Phasenwechselmaterial eingebracht ist.

[0009] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung erfährt die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine dadurch, dass die Gaskammer als gasdruckdichtes Rohr mit viereckigem oder rundem Querschnitt ausgebildet ist, dessen Seitenwände gasentleerte Hohlräume aufweisen.

[0010] Die Effizienz der Erfindung wird vorteilhaft beeinflusst durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Wärmetauscher, indem diese als gasdruckdichte Gegenstrom-Wärmetauscher ausgebildet sind und zur Gaskammer hin eine glatte Oberflächenstruktur, auf der gegenüberliegenden Seite hingegen eine mäanderförmige Oberflächenstruktur aufweisen, die direkt in das Material der Wärmetauscher eingebracht oder als stoffschlüssige Verbindung mit gebogenen Rohren ausgebildet ist und jeder Wärmetauscher auf jeder Seite über jeweils eine Eintritts- und eine Austrittöffnung für

das Übertragungsmedium verfügt, wobei vorzugsweise mindestens eine Wärmetauscheinrichtung wärmeisoliert ist und/oder die Wärmetauscher gasdruckdicht mit der Gaskammer verbunden sind.

[0011] Vorteilhaft weitergebildet wird die Erfindung, wenn der Arbeitszylinder getriebeseitig ein gasdruckdichtes Gehäuse aufweist, das über eine Absperreinrichtung mit der Gaskammer verbunden ist, sodass Leckagegas aus dem Kurbelraum des Arbeitszylinders in die Gaskammer rückgeführt werden kann.

[0012] Die vorteilhafte Wirkung der Erfindung ergibt sich aus dem Zusammenspiel der konstruktiven Merkmale im Kreisprozess:

[0013] Der Verdränger befindet sich auf der kalten Seite, der Arbeitskolben am unteren Umkehrpunkt. Durch das Erwärmen des Gases wird der Arbeitskolben nach außen gedrückt, kinetische Energie wird gewonnen und über das Getriebe einem Nutzprozess zugeführt. Der Arbeitskolben erreicht den oberen Totpunkt, das Gas das maximale Volumen. Beim größten warmen Gasvolumen klappt der Verdränger schlagartig auf die warme Seite, das Gas strömt durch die kühlen Regeneratoren und gibt isochor Wärme ab. Mit dem Umklappen des Verdrängers auf die warme Seite ist der Wärmeaustausch abgeschlossen. Das kalte Gas wird nun durch den Arbeitskolben isotherm komprimiert. Hat der Arbeitskolben den unteren Totpunkt erreicht, klappt der Verdränger schlagartig auf die kalte Seite. Das Gas durchströmt die warmen Regeneratoren und nimmt isochor Wärme auf.

[0014] Der diskontinuierliche Ablauf des Kreisprozesses erfolgt in den isochoren Teilprozessen. In beiden Teilprozessen klappt der Verdränger schlagartig von der Ausgangsseite auf die Zielseite um. Das plötzliche Umschlagen zwischen warmer und kalter Seite verhindert zugleich auch das Entstehen zusätzlicher Wärmeverluste, welche den Wirkungsgrad des Kreisprozesses herabsetzen könnten.

[0015] Die pro Kreislaufzyklus auf die kalte Maschinenseite transportierte Wärmemenge wird in geeigneter Weise abgeleitet oder anderweitig genutzt.

[0016] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine werden nachfolgend anhand von Figuren erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1	schematisch eine Wärmekraftmaschine mit einem Arbeitskolben und einem über zwei Zug-Schub-Stangen angetriebenen Verdränger;
Fig. 2	die Wärmekraftmaschine aus Fig. 1 mit physikalischen Größen;
Fig. 3	schematisch eine Wärmekraftmaschine mit zwei Arbeitskolben und einem über eine Zug-Schub-Stange angetriebenen Verdränger;
Fig. 4	die Wärmekraftmaschine aus Fig. 3 mit physikalischen Größen;
Fig. 5 bis 8	schematisch die Arbeitstakte einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine;
Fig. 9	eine Prinzipskizze eines Wärmetauschers auf einer warmen Seite einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in einer Draufsicht auf die warme Seite; und
Fig. 10	eine Prinzipskizze eines Wärmetauschers auf einer kalten Seite einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in einer Draufsicht auf die kalte Seite.

[0017] Fig. 1 und Fig. 3 zeigen schematisch geschnittene Seiteneinsichten von möglichen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine. Fig. 2 und Fig. 4 zeigen die Wärmekraftmaschinen aus Fig. 1 bzw. Fig. 3 mit markierten physikalischen Größen.

[0018] Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine ist ein Flachplatten-Stirling-Motor. Sie besteht aus einer starren Gaskammer 1, deren Seitenwände 6 aus einem thermischen Isolator und deren Grund- und Deckfläche 3, 5 aus Wärmetauschern 2, 4 mit außen liegender thermischer Isolation aufgebaut sind. In dem Beispiel von Fig. 1 ist die Gaskammer 1 quaderförmig ausgebildet. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Gaskammer 1 auch zylinderförmig ausgebildet sein. In diesem Fall besteht die Zylinderwand der Gaskammer 1 aus einem thermischen Isolator und an der Grund- und Deckfläche des Zylinders sind Wärmetauscher 2, 4 mit außen liegender thermischer Isolation vorgesehen.

[0019] In der Gaskammer 1 ist ein dem Kammerquerschnitt angepasster, jedoch nicht dicht schließender Verdrängerkolben in Form einer Verdrängerplatte 10 mit Bewegungsfreiheit in Grund- und Deckflächenrichtung mit einer Mehrzahl integrierter Regeneratoren 11 angeordnet. In anderen, nicht gezeigten Ausführungsformen der Erfindung kann anstelle der mehreren Regeneratoren 11 auch nur ein Regenerator 11 vorgesehen sein.

[0020] Die Deckfläche der Gaskammer 1 ist über ein kleines Totvolumen mit einem (Fig. 1 und 2) oder zwei (Fig. 3 und 4) Arbeitszylinder(n) 8 verbunden, dessen bzw. deren Arbeitskolben 9 in Arbeitszylinderachsrichtung beweglich ist bzw. sind und eine Variation des Gesamtvolumens von Gaskammer 1 und Arbeitszylinder 8 erlaubt bzw. erlauben.

[0021] Ein Getriebe 7, welches Arbeitskolben 9 und Verdrängerplatte 10 funktionsgemäß verbindet, realisiert eine diskontinuierliche Bewegung der Verdrängerplatte 10. Verdrängerplatte 10 und Arbeitskolben 9 sind um 90° phasenversetzt. Die kontinuierliche Bewegung des Arbeitskolbens 9 wird durch Druckpunkt und Federgetriebe 7 in eine ruckartige, bistabile (diskontinuierliche) Bewegung des Zug-Schub-Gestänges 12 gewandelt.

[0022] Die Wärmekraftmaschine ist ein Basismodul und kann zu komplexeren Wärmekraftmaschinen-Arrays in Form von Mehrzylinder-Wärmemaschinen zusammengesetzt werden. Für den Aufbau von Mehrzylinder- oder Mehrstufen-Varianten ist die viereckige Bauweise einer runden oder elliptischen vorzuziehen.

[0023] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen eine erste Variante des Basismoduls. Der Arbeitszylinder 8 befindet sich aus strömungstechnischen Gründen zentralsymmetrisch auf der kalten Deckfläche 5, wobei der Kammerquerschnitt kreisförmig oder quadratisch ist. Arbeitskolben 9 und Verdrängerplatte 10 bewegen sich parallel und zentralsymmetrisch zur Kammerachse. Die Verdrängerplatte 10 wird zentralsymmetrisch durch zwei Zug-Schub-Stangen 12 geführt, welche über Exzenter auf einer Drehachse als Getriebe 7 mit dem Arbeitskolben 9 verbunden sind.

[0024] Eine zweite Variante zeigen Fig. 3 und Fig. 4. Hier sind zwei Arbeitszylinder 8 zentralsymmetrisch auf der kalten Deckfläche 5 angeordnet, aus strömungstechnischen Gründen müsste der Kammerquerschnitt elliptisch oder rechteckig gewählt werden. Arbeitskolben 9 und Verdrängerplatte 10 bewegen sich parallel zur Symmetrieachse der Kammer 1. Die Verdrängerplatte 10 wird zentralsymmetrisch durch eine Zug-Schub-Stange 12 geführt, welche über Exzenter auf einer Drehachse als Getriebe 7 mit dem Arbeitskolben 9 verbunden sind.

[0025] In jedem Wärmetauscher 2, 4 sind ein oder mehrere Rohre mäanderförmig integriert, welche von einem oder mehreren warmen flüssigen oder gasförmigen Medien getrennt durchflossen werden. Für die Zug-Schub-Stangen 12 und Arbeitszylinder 8 sind entsprechende Durchbrüche vorhanden. Die Fließrichtung in den verschiedenen Rohren eines Wärmetauschers 2, 4 kann zur Verbesserung der Temperaturkonstanz gegenläufig sein. Die Zu- und Abflüsse 13 sind mit entsprechenden Pfeilen gekennzeichnet.

[0026] Für die Seitenwände 3, 5, 6 der Gaskammer 1 ist als thermischer Isolator ein Metall-Dämmstoff- oder Metall-Polymer-Verbund vorgesehen. Diese Materialien eignen sich insbesondere dann, wenn die Temperatur der warmen Seite nicht höher als 100 °C und an der kalten Seite nicht tiefer als - 25 °C ist. Grundsätzlich können für die Ausbildung der Seitenwände 3, 5, 6 auch andere Materialien eingesetzt werden. In beiden Varianten befindet sich zwischen den metallischen Außenflächen die eigentliche Dämmschicht, welche auch geschäumt sein kann. Dabei können die im Schaum vorhandenen Lufteinschlüsse als Dämmmittel dienen, es eignen sich beispielsweise PUR-, PS- oder PE-Schäume. Andere geeignete Dämmstoffe sind z. B. Schaumglas, Glaswolle, Kork, Perlit, Mineralwolle oder Vakuumplatten mit einer Wärmeleitfähigkeit $\leq$ 0,05 W/m K.

[0027] Die in Fig. 2 und Fig. 4 verwendeten Kürzel haben folgende Bedeutung:

Kürzel	Bedeutung
T_O	mittlere Temperatur der warmen Seite [in K]
T_U	mittlere Temperatur der kalten Seite [in K]
T_R	mittlere Temperatur der Regeneratoren [in K]
Q_{zu}	die der warmen Seite entnommene Wärmemenge
Q_{ab}	die an die kalte Seite abgegebene Wärmemenge
Q_R	Seitenwand mit thermischem Isolator
V_R	Regeneratorvolumen
W_{mech}	entnommene mechanische Energie
p_{min}	minimaler Gasdruck
P_{max}	maximaler Gasdruck
P_{mean}	mittlerer Gasdruck
v	Verdichtung
η_{WKM}	Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine

[0028] Fig. 5 bis Fig. 8 veranschaulichen schematisch die Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine.

[0029] In der Darstellung von Fig. 5 befindet sich die als Verdrängerkolben bzw. Verdränger fungierende Verdrängerplatte 10 auf der kalten Seite der Gaskammer 1. Der Arbeitskolben 9 befindet sich an einem unteren Umkehrpunkt. In

der Gaskammer 1 wird das Gas durch den auf der warmen Seite der Gaskammer 1 vorgesehenen Wärmetauscher 2 erwärmt, es dehnt sich aus. Man spricht hier von einer isothermen Expansion (1→2). Durch das Erwärmen des in der Gaskammer 1 befindlichen Gases, wie Luft, Helium oder Wasserstoff, wird der Arbeitskolben 9 nach außen, das heißt in der Darstellung von Fig. 5 nach oben, gedrückt. Dies ist der eigentliche Arbeitstakt.

[0030] Der Arbeitskolben 9 wird so lange nach oben gedrückt, bis er den oberen Totpunkt erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt besitzt das Gas in der Wärmekraftmaschine das maximale Volumen. Beim größten warmen Gasvolumen klappt die Verdrängerplatte 10 nahezu schlagartig auf die warme Seite, das Gas strömt durch die kühlen Regeneratoren 11 und gibt an diese Wärme ab. Diese Phase wird als isochore Abkühlung (2→3) bezeichnet und ist in Fig. 6 dargestellt.

[0031] Im Stadium der isothermen Kompression (3→4), die in Fig. 7 schematisch gezeigt ist, wird das kalte Gasvolumen durch den Arbeitskolben 9 komprimiert. Diese Phase dauert an, bis der Arbeitskolben 9 den unteren Totpunkt erreicht hat und das Gasvolumen somit den geringsten Wert aufweist.

[0032] Beim größten kalten Gasvolumen klappt die Verdrängerplatte 10 wiederum nahezu schlagartig auf die kalte Seite, wo sich der Wärmetauscher 4 befindet. Hierbei strömt das Gas, wie es in Fig. 8 zu sehen ist, durch die warmen Regeneratoren 11 und nimmt Wärme auf. Man bezeichnet diesen Takt (4→1) als isochore Erwärmung.

[0033] Bei der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine erfolgt der diskontinuierliche Ablauf des oben beschriebenen Kreisprozesses in den isochoren Teilprozessen (2→3) und (4→1): In beiden Teilprozessen klappt die Verdrängerplatte 10 schlagartig von der Ausgangsseite auf die Zielseite um, was durch Federkomponenten mit Druckpunkt im Getriebe realisiert wird. Das plötzliche Umschlagen zwischen warmer und kalter Seite verhindert zugleich auch das Entstehen zusätzlicher Wärmeverluste, welche den Wirkungsgrad des Kreisprozesses herabsetzen könnten.

[0034] Die pro Kreislaufzyklus auf die kalte Maschinenseite transportierte Wärmemenge wird in geeigneter Weise angeleitet oder anderweitig genutzt. Im Fall eines nachgeschalteten Kühlkreislaufes könnte auch die von der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine (Stirling-Maschine) erzeugte mechanische Energie genutzt werden.

[0035] Fig. 9 und Fig. 10 zeigen schematisch günstige Ausgestaltungen von Wärmetauschern 2, 4 auf der warmen Seite (Fig. 9) und auf der kalten Seite (Fig. 10) der Wärmekraftmaschine. Zum Aufbau der Wärmetauscher 2, 4 werden zwischen zwei Metallplatten mit gutem thermischen Kontakt zur Kammerinnenseite der Wärmekraftmaschine mäanderförmig Rohre 14 vorgesehen. Die Zwischenräume 15 zwischen den Rohren 14 sind mit einem guten thermischen Kontaktmittel, wie beispielsweise mit Metallschaum, gefüllt. Darüber hinaus ist es möglich, zwischen den Rohren 14 und der Kammeraußenseite einen thermischen Isolator vorzusehen.

[0036] Als Rohrmaterial können beispielsweise preiswerte Metalle mit hoher Wärmeleitfähigkeit, wie beispielsweise hochreines Kupfer (mit einer Wärmeleitfähigkeit von etwa 401 W/(m K)), handelsübliches Kupfer (mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 240 und 380 W/(m K)) oder Aluminium (mit einer Wärmeleitfähigkeit von etwa 236 W/(m K)) verwendet werden. Grundsätzlich ist jedoch auch ein Einsatz von Silizium oder Stahl denkbar. Da Kupfer zugleich hervorragende Zug-Eigenschaften aufweist, bietet sich Kupfer sowohl für die Rohrausbildung als auch als Füllmaterial für die Füllung der Zwischenräume 15 zwischen den Rohren 14 an. Allerdings ist auch zu beachten, dass ein elektrisch leitender Kontakt von Eisen (bzw. Stahl) und Kupfer zu vermeiden ist, um eine elektrochemische Zerstörung zu vermeiden.

[0037] Benachbarte Rohre 14 werden im Gegenstromprinzip von einem Medium durchströmt, um den Temperaturgradienten in der Rohrebene gering zu halten.

Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine bestehend aus einer Gaskammer (1), welche an mindestens einer Seite mit einem ersten Wärmetauscher (4) in Verbindung steht, der ein kaltes Medium führt, sowie einem weiteren Wärmetauscher (2), welcher an mindestens einer Seite der Gaskammer (1) gegenüber dem ersten Wärmetauscher (4) angeordnet ist und ein wärmeres Medium führt, sowie einer beweglichen Verdrängerplatte (10), die sich in der Gaskammer (1) befindet, mit der Gaskammer (1) wenigstens ein Arbeitszylinder (8) verbunden ist, in dem ein Arbeitskolben (9) oszilliert, und der Arbeitskolben (9) und die Verdrängerplatte (10) über ein Getriebe (7) zur Phasenverschiebung und Umwandlung der kontinuierlichen Oszillation des Arbeitskolbens (9) in eine bistabile Oszillation der Verdrängerplatte (10) gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verdrängerplatte (10) mindestens einen gasdurchlässigen Regenerator (11) umfasst, jeder Regenerator (11) in einem Durchbruch durch die Verdrängerplatte (10) derart mittig angeordnet ist, dass die Verdrängerplatte (10) in ihrem geometrischen Zentrum ausbalanciert ist, wobei die Dichte der Verdrängerplatte (10) kleiner oder gleich der Dichte des Regenerators (11) ist und die Verdrängerplatte (10) eine größere Festigkeit als der Regenerator (11) sowie eine Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,09 Watt je Meter und Kelvin aufweist.

2. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regenerator (11) aus einem offenporigen Metallschaum besteht.

3. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallschaum des Regenerators (11) eine zweiteilige Struktur aufweist, wobei diese einerseits gasdurchlässige Abschnitte durch eine offenporige Struktur sowie andererseits geschlossenporige Abschnitte besitzt, in welche ein Phasenwechselmaterial eingebracht ist.

4. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gaskammer (1) als gasdruckdichtes Rohr mit viereckigem oder rundem Querschnitt ausgebildet ist, dessen Seitenwände gasentleerte Hohlräume aufweisen.

5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmetauscher (2, 4) als gasdruckdichte Gegenstrom-Wärmetauscher ausgebildet sind und zur Gaskammer (1) hin eine glatte Oberflächenstruktur, auf der gegenüberliegenden Seite hingegen eine mäanderförmige Oberflächenstruktur aufweisen, die direkt in das Material der Wärmetauscher (2, 4) eingebracht oder als stoffschlüssige Verbindung mit gebogenen Rohren ausgebildet ist und jeder Wärmetauscher (2, 4) auf jeder Seite über jeweils eine Eintritts- und eine Austrittöffnung (13) für das Übertragungsmedium verfügt.

6. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Wärmetauscher (2, 4) wärmeisoliert ist.

7. Wärmekraftmaschine Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmetauscher (2, 4) gasdruckdicht mit der Gaskammer (1) verbunden sind.

8. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitszylinder (8) getriebeseitig ein gasdruckdichtes Gehäuse aufweist, das über eine Absperreinrichtung mit der Gaskammer (1) verbunden ist.

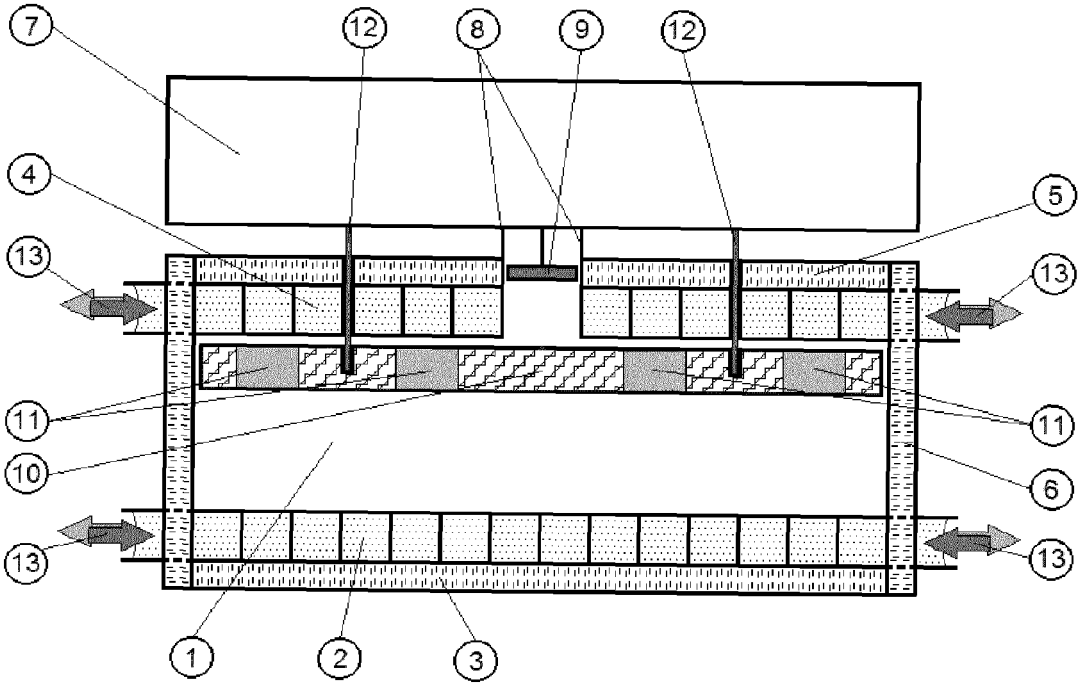

7
12
8
9
12
4
5
13
13
11
11
10
6
13
13
1
2
3

Fig. 1

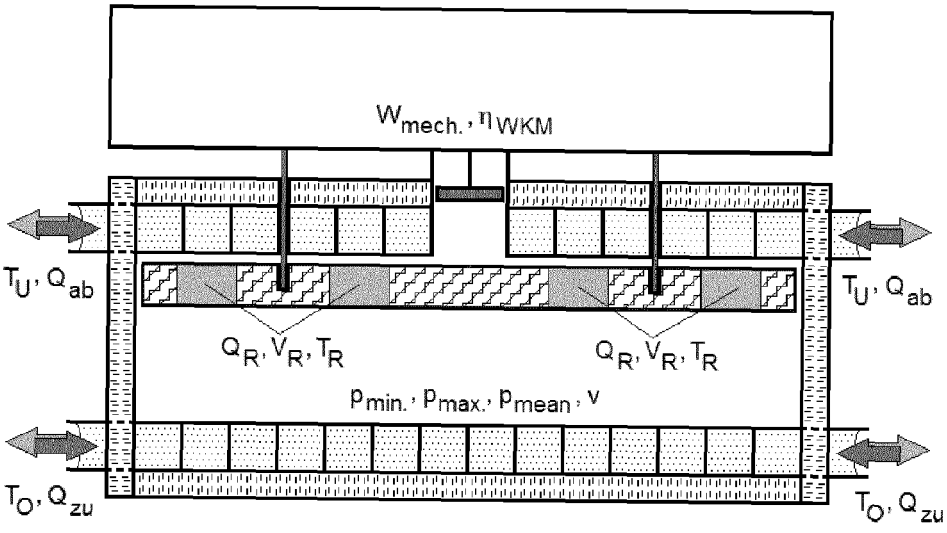

$W_{mech.}, \eta_{WKM}$
T_U, Q_{ab}
T_U, Q_{ab}
Q_R, V_R, T_R
Q_R, V_R, T_R
$p_{min.}, p_{max.}, p_{mean}, v$
T_O, Q_{zu}
T_O, Q_{zu}

Fig. 2

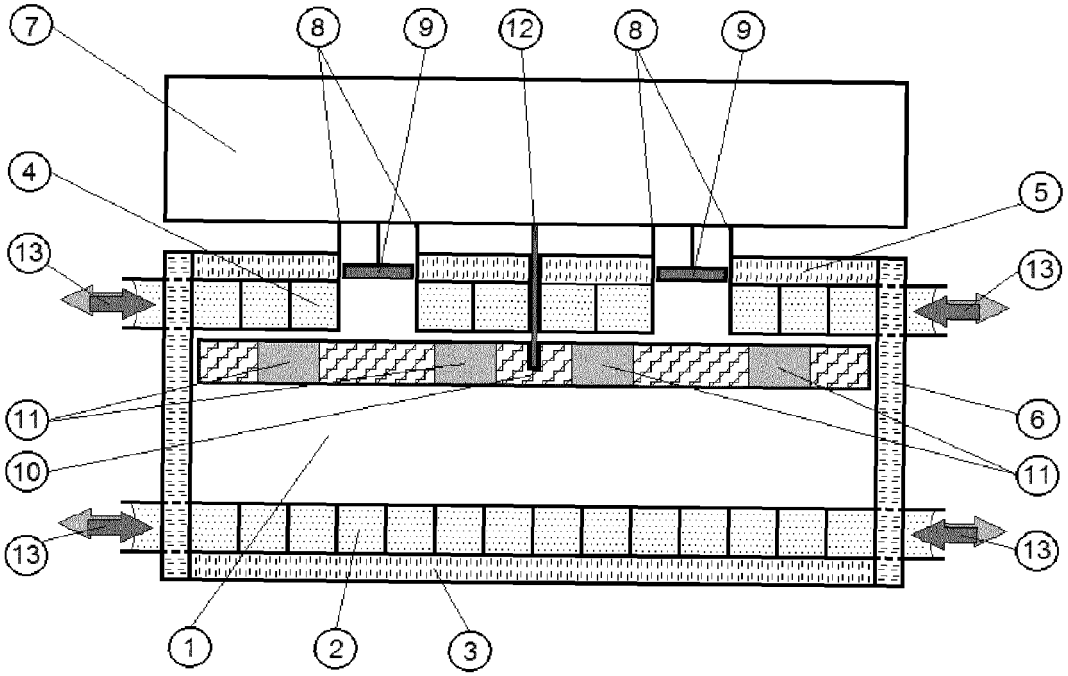

7
8
9
12
8
9
4
5
13
13
11
6
10
11
13
13
1
2
3

Fig. 3

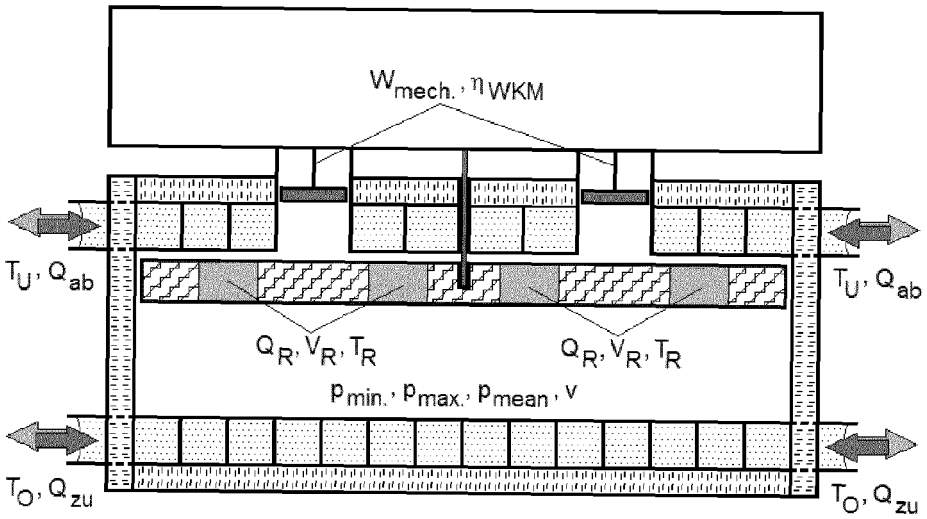

$W_{mech.}$, η_{WKM}
T_U, Q_{ab}
T_U, Q_{ab}
Q_R, V_R, T_R
Q_R, V_R, T_R
$p_{min.}$, $p_{max.}$, p_{mean}, v
T_O, Q_{zu}
T_O, Q_{zu}

Fig. 4

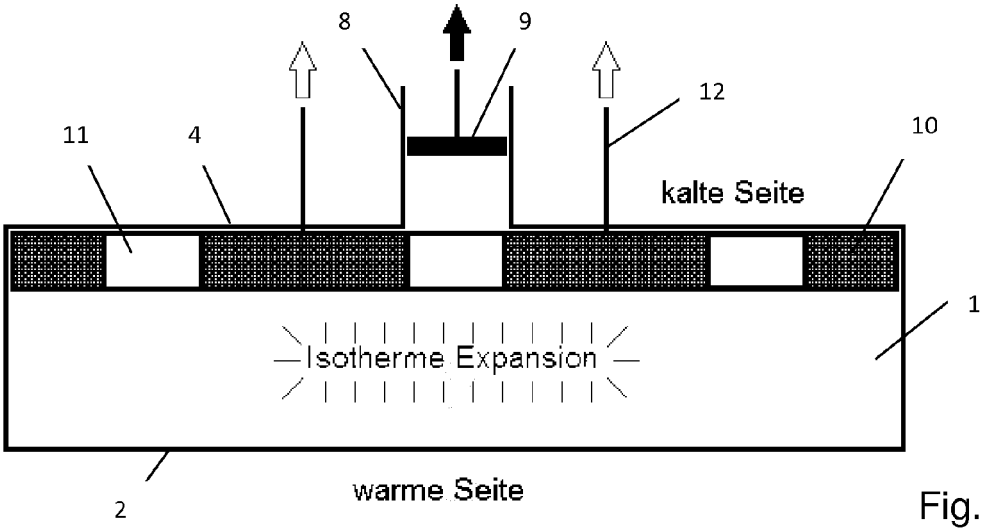


Fig. 5

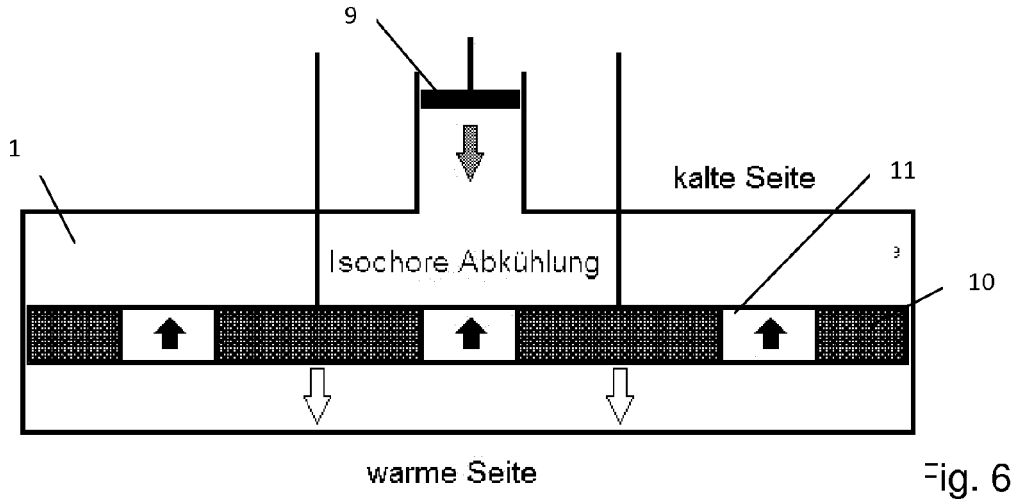


Fig. 6

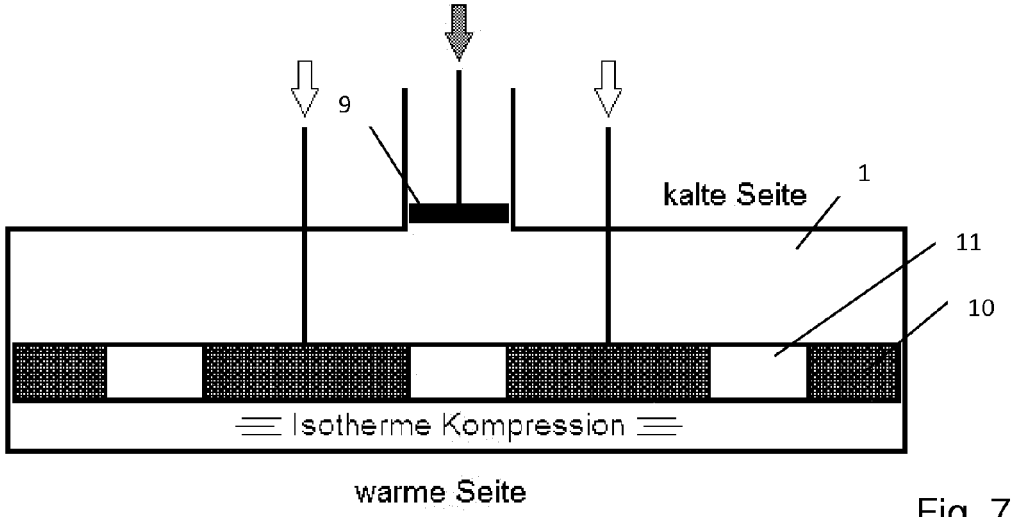


Fig. 7

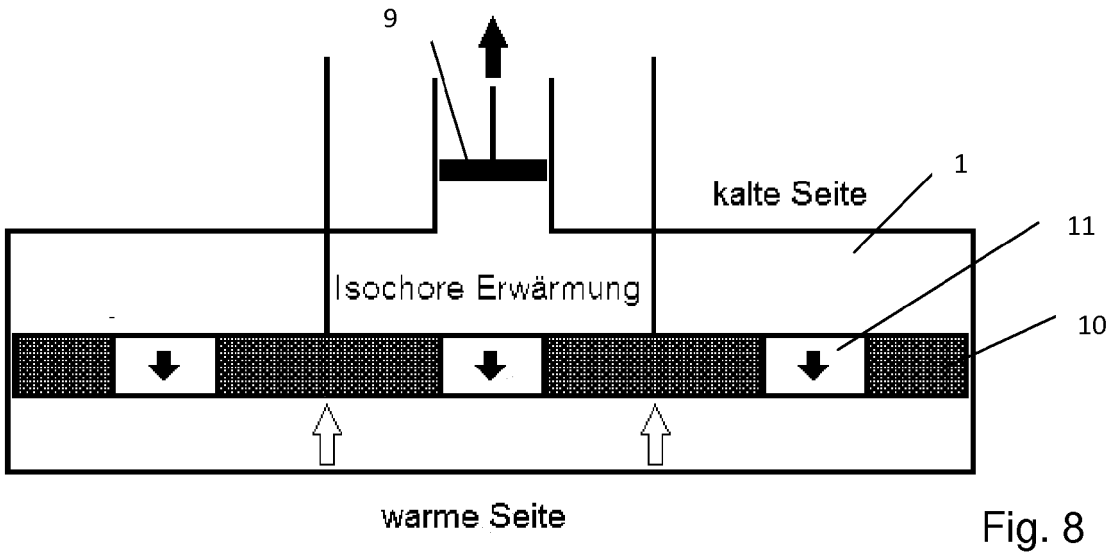


Fig. 8

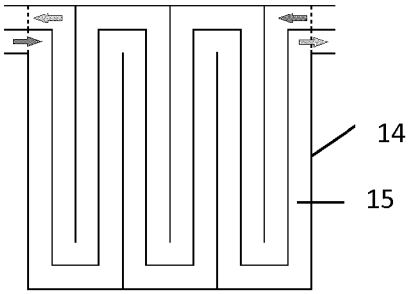


Fig. 9

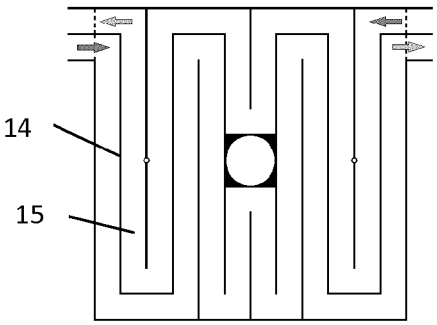


Fig. 10

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 3015815 A1 **[0002]**