



(11)

EP 2 037 113 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**18.03.2009 Patentblatt 2009/12**

(51) Int Cl.:

(21) Anmeldenummer: **08014610.3**

(22) Anmeldetag: 18.08.2008

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE LU LT PR SK CR  
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT  
RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA MK RS**

(71) Anmelder: **Leopold Schlager**  
**6300 Wörql (AT)**

(72) Erfinder: **Leopold Schlager**  
**6300 Wörgl (AT)**

(74) Vertreter: Hofmann, Ralf U.  
Egelseestrasse 65a  
Postfach 61  
6806 Feldkirch (AT)

(30) Priorität: 11.09.2007 AT 14212007

## (54) Wärmekraftmaschine

(57) Wärmekraftmaschine zur Erzeugung von mechanischer Energie mit einem ersten Zylinder und einem Arbeitszylinder (6) in dem ein Arbeitskolben (7) bewegbar gelagert ist, wobei zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder (6) zumindest eine Verbindung vorgesehen ist, über die ein Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder (6) austauschbar ist, und wobei eine Heizung (14) zum Beheizen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder und eine Kühlung (12) zum Kühlen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder

vorgesehen sind, wobei zumindest ein zusätzlicher Zylinder vorgesehen ist, welcher über ein absperrbares Ventil (4) mit dem ersten Zylinder in Verbindung bringbar ist, wobei durch Öffnen des Ventils (4) eine Überström möglichkeit für das Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem zusätzlichen Zylinder bereitstellbar ist, wobei das Ventil (4) in einem offenen Zustand ein Überströmen des Arbeitsmediums vom ersten Zylinder in den zusätzlichen Zylinder und in umgekehrter Richtung vom zusätzlichen Zylinder in den ersten Zylinder erlaubt.

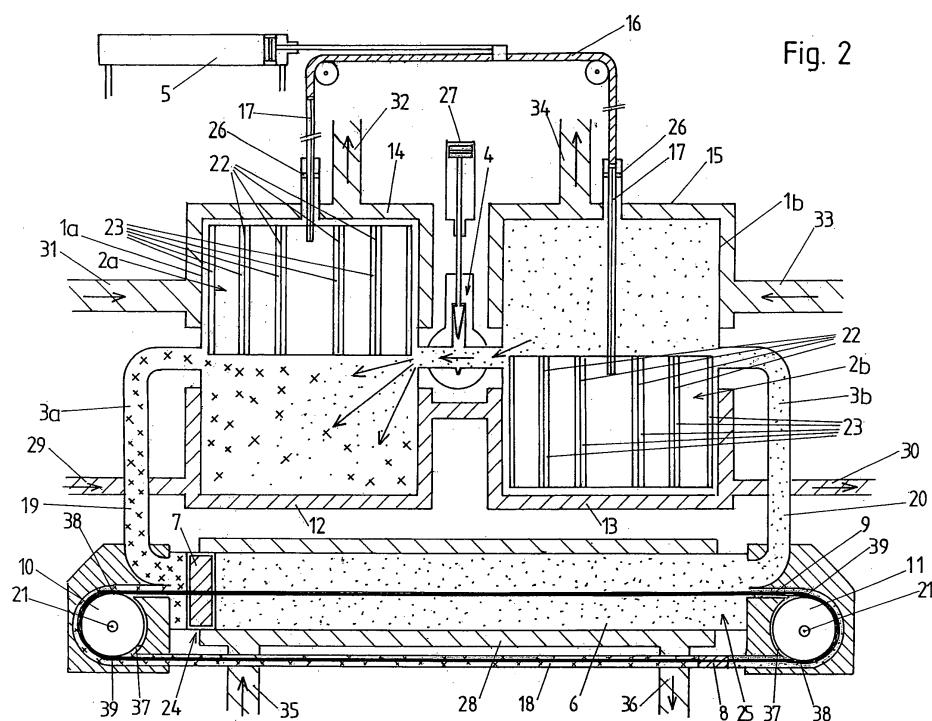


Fig. 2

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Erzeugung von mechanischer Energie mit einem ersten Zylinder und einem Arbeitszylinder in dem ein Arbeitskolben bewegbar gelagert ist, wobei zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder zumindest eine Verbindung vorgesehen ist, über die ein Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder austauschbar ist, und wobei eine Heizung zum Beheizen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder und eine Kühlung zum Kühlen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder vorgesehen sind, wobei zumindest ein zusätzlicher Zylinder vorgesehen ist, welcher über ein absperrbares Ventil mit dem ersten Zylinder in Verbindung bringbar ist, wobei durch Öffnen des Ventils eine Überströmmöglichkeit für das Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem zusätzlichen Zylinder bereitstellbar ist.

**[0002]** Solche Wärmekraftmaschinen sind beim Stand der Technik z. B. als Stirling-Motoren bekannt. Es handelt sich dabei um Wärmekraftmaschinen, in denen ein abgeschlossenes Arbeitsmedium - meist ein Gas, wie Luft oder Helium - von außen an zwei verschiedenen Stellen erhitzt und gekühlt wird, um mechanische Energie zu erzeugen. Die Stirling-Motoren arbeiten in einem geschlossenen Kreisprozess und können mit einer beliebigen externen Wärmequelle betrieben werden. Beim Stirling-Motor bleibt das Arbeitsmedium innerhalb des Motors und wird nicht ausgetauscht. Das bedeutet, dass er abgesehen von einer gegebenenfalls durch Verbrennung betriebenen externen Wärmequelle ohne die Emission von Abgasen arbeitet. Der Arbeitskolben des Stirling-Motors treibt in der Regel über ein entsprechendes Kurbelwerk eine Kurbelwelle an. Dies hat den Nachteil, dass nur in einem kleinen Arbeitsbereich das maximale Drehmoment auf die Kurbelwelle übertragen wird. Allgemein haben die Stirling-Motoren das Problem eines sehr geringen Wirkungsgrades. Darüber hinaus ist die Ansteuerung in der Regel schwierig.

**[0003]** Aus der EP 1 116 872 A1 ist eine Kaskade von in Serie geschalteten Stirling Einheiten bekannt, welche über Rückschlagventile miteinander verbunden sind. Ähnliches zeigt auch die US 3,248,870 A. Auch hier sind Rückschlagventile zwischen miteinander gekoppelten Stirling Einheiten vorgesehen.

**[0004]** Im Sinne eines möglichst guten Wirkungsgrades wäre es günstig, eine möglichst eckige Steuerung zu erreichen. Darunter ist zu verstehen, dass der Arbeitskolben in einem oder zwei Totpunkten zum Stehen kommt und zwischen diesen Totpunkten ein möglichst hohes und konstantes Drehmoment auf den jeweiligen Abtrieb überträgt. Bei bisher bekannten Stirling-Motoren wird dies nicht erreicht, da der Arbeitskolben auch dann bewegt wird, wenn er keine Arbeit leistet, was zwangsläufig zu Energieverlusten und damit zu einem schlechten Wirkungsgrad führt.

**[0005]** Aufgabe der Erfindung ist es, gattungsgemäße

Wärmekraftmaschinen dahingehend zu verbessern, dass ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden kann.

**[0006]** Dies wird durch eine Wärmekraftmaschine gemäß des Patentanspruchs 1 erreicht.

**[0007]** Es ist somit vorgesehen, zusätzlich zum ersten Zylinder, in dem das Arbeitsmedium erwärmt und gekühlt wird, einen zusätzlichen - vom Arbeitszylinder zu unterscheidenden - Zylinder vorzusehen, welcher mit dem ersten Zylinder in Verbindung bringbar ist, wobei zwischen den beiden Zylindern ein absperrbares Ventil vorgesehen ist, welches geöffnet und geschlossen werden kann. Im offenen Zustand erlaubt das Ventil ein Überströmen des Arbeitsmediums vom ersten Zylinder in den zusätzlichen Zylinder und in umgekehrter Richtung. Es handelt sich dabei somit um einen Ventiltyp, der im geöffneten Zustand sowohl ein Durchströmen in die eine Richtung als auch in die entgegengesetzte Richtung zulässt. Dabei ist günstigerweise vorgesehen, dass diese Wegsamkeit mit dem darin angeordneten absperrbaren Ventil direkt vom ersten Zylinder zum zusätzlichen Zylinder führt, also ohne Zwischenschaltung des Arbeitszylinders. Durch das Öffnen des Ventils ist es im Gegensatz zu herkömmlichen Stirling-Motoren möglich, ein plötzliches Abreißen des Druckunterschiedes herbeizuführen. Dabei wird nach dem Öffnen des Ventils nicht nur der Druck zwischen den beiden Zylindern sondern auch Temperatur und Masse zwischen den beiden Druckbereichen der Wärmekraftmaschine verschoben. Hierdurch ist es möglich, den Arbeitskolben zum Stillstand zu bringen, was die erwünschte, bezüglich des Wirkungsgrades günstige eckige Steuerung ermöglicht. Darüber hinaus hat der Druckausgleich den Vorteil, dass das kalte drucklose Arbeitsmedium in dem einen Zylinder durch das einströmende unter Druck stehende und warme Arbeitsmedium aus dem anderen Zylinder vorgewärmt und vorverdichtet wird, sodass beim anschließendem Aufheizen des Arbeitsmediums in den erstgenannten Zylinder weniger Energie bzw. Wärme eingebracht werden muss. Der Massentransport hat darüber hinaus den Vorteil, dass ein hoher Füllgrad im Zylinder erreicht wird. Andererseits wird durch den Druckausgleich Wärme aus dem im zweitgenannten Zylinder verbleibenden Arbeitsmedium abgeführt, was dort zusätzlich zu einer sehr raschen Druckverminderung zu einer Vorkühlung führt, wodurch weniger Wärme aus dem Arbeitsmedium mittels der Kühlung abgeführt werden muss. Insgesamt bleibt dem System Energie erhalten. Es muss auf der einen Seite weniger Wärme zugeführt und auf der anderen Seite weniger Wärme abgeführt werden. Insgesamt führt dies zu einer erheblichen Steigerung des Wirkungsgrades der Wärmekraftmaschine. Darüber hinaus wird die negative Wirkung von Toträumen in der Maschine durch die Vorverdichtung bzw. Vorentspannung deutlich vermindert.

**[0008]** Günstigerweise ist dabei vorgesehen, dass auch der zusätzliche Zylinder eine Heizung zum Beheizen des Arbeitsmediums und eine Kühlung zum Kühlen des Arbeitsmediums aufweist.

**[0009]** Dabei sind sowohl der Begriff der Heizung als

auch der der Kühlung sehr weit aufzufassen. Es kann praktisch jede Kühl- bzw. Wärmequelle genutzt werden. Eine Beheizung aber auch eine Kühlung kann z. B. durch entsprechende Heiz- oder Kühleinrichtungen erfolgen. Es ist aber auch möglich, die Heizung oder die Kühlung durch die Umgebungstemperatur der Wärmekraftmaschine zu realisieren, wenn andererseits durch eine entsprechende Kühl- oder Heizeinrichtung die gewünschte Temperaturdifferenz bereitgestellt wird. Als Kühlung kann z. B. eine an sich bekannte Wasserkühlung oder eine Luftkühlung vorgesehen sein. Zum Beheizen kann eine beliebige Wärmequelle wie z. B. Abwärme von Kraftwerken, Solarenergie o. dgl. verwendet werden. Ein besonderer Vorteil ist, dass die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine schon bei vergleichsweise geringen Temperaturdifferenzen zwischen warmer und kühler Seite aus Wärme mechanische Energie erzeugen kann. Die Temperaturdifferenz zwischen Heizung und Kühlung beträgt günstigerweise zumindest 100° C. Die Wärmequelle muss dazu in der Regel nicht modifiziert werden. Es reicht vollkommen aus, wenn die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine an den (Ab-) Wärmeabgebenden Teil also quasi an den Auspuff eines bestehenden Kraftwerks oder dergleichen angehängt wird.

**[0010]** Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff des Zylinders im Sinne der Erfindung sehr allgemein aufgefasst werden muss. Grundsätzlich handelt es sich dabei um ein bis auf die nötigen Zu- und Ableitungen geschlossenes Behältnis, in dem sich das Arbeitsmedium befindet. Auch wenn dies eine bevorzugte Ausführungsform ist, muss der Zylinder im Sinne der Erfindung also nicht zwingend eine zylindrische Form haben.

**[0011]** Grundsätzlich ist es denkbar, das Arbeitsmedium im Zylinder und im zusätzlichen Zylinder im Zuge des weiter unten erläuterten Arbeitszyklusses der Wärmekraftmaschine in jeweils einem einzigen Volumenbereich abwechselnd zu heizen und zu kühlen. Dies ist aber in der Regel mit Verlusten verbunden, da immer die zusätzliche Abkühlung und Wiederaufheizung der das Arbeitsmedium umgebenden Trennwandungen konstruktionsbedingt notwendig ist. Um dies zu vermeiden ist es günstiger, im Zylinder und/oder im zusätzlichen Zylinder Teilbereiche vorzusehen, die permanent geheizt werden, und andere Teilbereiche vorzusehen, die permanent gekühlt werden. Um das Arbeitsmedium im Zuge des Arbeitszyklus von einem dieser Teilbereiche in den jeweils anderen Teilbereich verschieben bzw. verdrängen zu können, ist es günstigerweise vorgesehen, den Zylinder und/oder den zusätzlichen Zylinder als sogenannte Verdrängerzylinder mit einem jeweils darin bewegbar gelagerten Verdrängerkolben auszuführen. Der Verdrängerkolben kann dann, wie an sich vom Stirling-Motor bekannt, das Arbeitsmedium aus dem geheizten Teilbereich verdrängen und in den gekühlten Teilbereich des jeweiligen Verdrängerzylinders verschieben und umgekehrt. Zur Zwischenspeicherung von Wärme in den Verdrängerkolben können, wie an sich ebenfalls bekannt, sogenannte Regeneratoren eingesetzt werden. Diese

können in verschiedenen, aus dem Stand der Technik bekannten Ausgestaltungsvarianten ausgeführt sein.

**[0012]** Besonders bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sehen darüber hinaus vor, dass anstelle des an sich bekannten Abtriebs über eine Kurbelwelle eine flexible Übertragungseinrichtung z. B. in Form einer Kette oder eines Bandes vorgesehen ist, welche die Bewegung des Arbeitskolbens auf zumindest ein Rad, vorzugsweise zwei Räder, überträgt. Diese Übertragungseinrichtung ist günstigerweise auf einer Mantelfläche des Rades aufliegend um das Rad oder die Räder bereichsweise herumgeführt. Hierdurch wird erreicht, dass über einen Großteil des Hubes des Arbeitskolbens ein konstantes und maximal mögliches Drehmoment an dem oder den Rädern erzeugt wird. Günstigerweise wird zumindest eine Lagerwelle eines der Räder als Abtrieb genutzt und mit einem entsprechenden Getriebe in Verbindung gebracht. Dabei ist es möglich die Wärmekraftmaschine selbst mit einer geringen Arbeitsgeschwindigkeit laufen zu lassen, was Raum für entsprechend lange Zeitintervalle für den Wärmeaustausch schafft. Höhere Drehzahlen bzw. schnellere Bewegungen können daraus dann durch entsprechende Übersetzungsgetriebe erzeugt werden.

**[0013]** Als Arbeitsmedium werden günstigerweise Gase wie z. B. Luft eingesetzt. Es können aber auch Flüssigkeiten als Arbeitsmedium verwendet werden. Günstig ist es, vor dem ersten Aufheizen und Kühlen der Wärmekraftmaschine einen erhöhten Grunddruck im Arbeitsmedium einzustellen. Dieser liegt je nach Größe der Wärmekraftmaschine günstigerweise zwischen 10 bar und 80 bar. Durch Aufbau dieses Grunddrucks ist besonders viel Masse an Gas bzw. Arbeitsmedium im Kreislauf der Wärmekraftmaschine vorhanden.

**[0014]** Weitere Einzelheiten und Merkmale eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung werden anhand der Fig. 1 bis 3 erläutert.

**[0015]** Zunächst wird dabei auf den Aufbau des gezeigten Ausführungsbeispiels eingegangen. Anschließend wird ein Verfahren zum Betrieb dieser Wärmekraftmaschine erläutert.

**[0016]** Die in den Fig. dargestellte Wärmekraftmaschine weist einen ersten Zylinder in Form des Verdrängerzylinders 1a und einen zusätzlichen Zylinder in Form des zusätzlichen Verdrängerzylinders 1b auf. Beide Zylinder wie auch der Arbeitszylinder 6 sind mit Arbeitsmedium gefüllt. In allen Fig. ist das erwärmte Arbeitsmedium gepunktet dargestellt. Das gekühlte Arbeitsmedium ist durch Kreuze veranschaulicht. Zwischen den Verdrängerzylindern 1a und 1b ist eine direkte Überleitung für das Arbeitsmedium vorgesehen, welche durch das Ventil bzw. Druckausgleichsventil 4 verschlossen und geöffnet werden kann. Im geschlossenen Zustand ist ein Austausch von Arbeitsmedium zwischen den Verdrängerzylindern 1a und 1b über diese Wegsamkeit nicht möglich. Im geöffneten Zustand des Ventils 4 ist eine Überströmmöglichkeit für das Arbeitsmedium zwischen diesen beiden Zylindern bereitgestellt. Das Ventil 4 kann grund-

sätzlich in verschiedensten an sich bekannten Formen ausgeführt sein. In der gezeigten Darstellung ist es in Form eines Schiebers realisiert, welcher von einem Aktuator 27 angetrieben wird. Der Aktuator 27 kann z. B. elektrisch, elektromagnetisch, pneumatisch, hydraulisch oder durch einen anderen Motor betrieben sein. Im oberen Bereich der beiden Verdrängerzylinder 1a und 1b sind in diesem Beispiel von einander getrennte Heizungen 14 und 15 vorgesehen. Diese können aber auch miteinander gekoppelt sein. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird jedenfalls durch die Zuläufe 31 und 33 jeweils ein Heizmedium wie z. B. Warmwasser oder Wasserdampf zugeführt. Der Abstrom aus den Heizungen 14 und 15 erfolgt über die Abläufe 32 und 34. Die zu nutzende Wärme kann z. B. durch Solarenergie, Abwärme o. dgl. bereitgestellt werden. Es ist aber auch jede andere Art der Heizung möglich. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist jedenfalls der jeweils obere Teilbereich des Innenraums der Verdrängerzylinder 1a und 1b der jeweils geheizte Bereich.

**[0017]** Im unteren Bereich der beiden Verdrängerzylinder ist jeweils eine Kühlung 12 und 13 vorgesehen. Diese beiden Kühlungen sind miteinander gekoppelt. Das Kühlmedium wie z. B. Kühlwasser tritt in diesem Ausführungsbeispiel durch den Zulauf 29 ein und durch den Ablauf 30 wieder aus. Auch diese Art der Kühlung ist nur ein Ausführungsbeispiel. Sie kann auch durch jede andere geeignete Art von Kühlung ersetzt werden.

**[0018]** In beiden Verdrängerzylindern 1a und 1b ist jeweils ein Verdrängerkolben 2a und 2b vorgesehen. Diese sind im gezeigten Ausführungsbeispiel jeweils zwischen einer ersten Position und einer zweiten Position auf und ab bewegbar. In einer dieser Positionen verdrängen sie das Arbeitsmedium aus dem jeweils geheizten Bereich in den gekühlten Bereich, in der entgegengesetzten Position verdrängen sie das Arbeitsmedium aus dem jeweils gekühlten Bereich in den geheizten Bereich. Günstig ist es, den Verdrängerkolben 2a und den zusätzlichen Verdrängerkolben 2b jeweils über eine Aufhängung im Wesentlichen frei hängend in den Verdrängerzylindern 1a bzw. 1b zu lagern. Dabei kann vorgesehen sein, dass die beiden Verdrängerkolben 2a und 2b über ihre Aufhängungen miteinander bezüglich ihrer Bewegbarkeit zwangsgekoppelt sind. Beide Verdrängerkolben 2a und 2b besitzen vom Arbeitsmedium durchströmbar Überströmöffnungen 22. Diese verlaufen im gezeigten Ausführungsbeispiel sowohl durch die Verdrängerkolben hindurch als auch seitlich an ihnen vorbei. Die Überströmöffnungen 22 dienen dazu, dass beim Verschieben der Verdrängerkolben 2a und 2b das Arbeitsmedium durch sie hindurch bzw. an ihnen vorbei strömen kann. Wie an sich bei Stirling-Motoren bekannt und in dem Ausführungsbeispiel gezeigt, ist es günstig, Regeneratoren 23 zur Zwischenspeicherung von Wärme vorzusehen. Diese stehen bevorzugt mit den Überströmöffnungen 22 in wärmeleitender Verbindung. Beim Stand der Technik sind für Stirling-Motoren verschiedenste Formen von Regeneratoren bekannt. Auch für die erfindungsgemäßen

Ausführungsbeispiele können solche Arten von Regeneratoren eingesetzt werden.

**[0019]** Im gezeigten Ausführungsbeispiel hängen die konstruktionsbedingt großen und schweren Verdrängerkolben 2a und 2b zwangsgekoppelt über die Steuerkette 16 miteinander verbunden in den stehenden Verdrängerzylindern 1a und 1b. Hierdurch kompensieren sie ihr Eigengewicht, wodurch nur noch wenig Kraft zum Verschieben der Verdrängerkolben 2a und 2b aufgewendet werden muss. Durch das freie Aufhängen gibt es auch so gut wie kein Anschlagen oder Reiben der Verdrängerkolben 2a und 2b an den Zylindern 1a und 1b. Die Kolbenstangen 17 können sehr dünn ausgeführt werden, da ausnahmslos Zuglasten auftreten. Die Kolbenstangendichtungen 26 erzeugen nur wenig Reibung. Ein Aufschwimmen der Verdrängerkolben 2a und 2b kann durch den hohen inneren Betriebsdruck nicht vorkommen. Durch die geschilderte Zwangskopplung der Verdrängerkolben 2a und 2b und die dadurch erreichte Gewichtskompensation reicht zum Bewegen der Verdrängerkolben ein vergleichsweise schwacher Antrieb 5 aus. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist dieser - schematisch dargestellt - als pneumatischer Steuerzylinder ausgebildet.

**[0020]** Beide Verdrängerzylinder 1a und 1b sind über die jeweiligen Leitungen 3a und 3b in der Form mit dem Arbeitszylinder 6 verbunden, dass über die Verbindungsleitungen 3a und 3b Arbeitsmedium aus den Verdrängerzylindern 1a und 1b in den Arbeitszylinder 6 strömen kann. Dabei trennen der im Arbeitszylinder 6 verschiebbar angeordnete Arbeitskolben 7 und der im Gegenzylinder 18 angeordnete Gegenkolben 8 und das geschlossene Ventil 4 die beiden Druckbereiche 19 und 20 voneinander. Der Arbeitskolben 7 ist als doppelt wirkender Kolben ausgebildet, indem er im Arbeitszylinder 6 von zwei gegenüberliegenden Seiten mit Arbeitsmedium beaufschlagbar ist. Die Bezugszeichen 24 und 25 bezeichnen die beiden Totpunktlagen bzw. Umkehrpunkte des Arbeitskolbens 7. Zwischen diesen Punkten ist er hin und her bewegbar. Der Arbeitskolben 7 ist, wie an sich bekannt, gegen die Wandung des Arbeitszylinders 6 abgedichtet. Der Arbeitszylinder 6 ist günstigerweise möglichst lang ausgebildet, um einen möglichst großen Hub des Arbeitskolbens zu ermöglichen. Günstig ist es, wenn dieser maximal mögliche Hub des Arbeitskolbens 7 im Arbeitszylinder 6 zumindest das zwanzigfache, vorzugsweise das bis zu fünfzigfache, des maximalen Durchmessers der inneren Öffnungsweite des Arbeitszylinders beträgt. Bevorzugt ist somit ein Bohrungs- zu Hubverhältnis im Bereich zwischen 1:20 und 1:50 vorgesehen. Es ist dabei an Längen des Arbeitszylinders von zumindest 2m und mehr gedacht. Das Arbeitsvolumen im Arbeitszylinder beträgt günstigerweise ca. 10% bis 50% des vom Arbeitsmedium insgesamt auszufüllenden Volumens der Wärmekraftmaschine. Der Arbeitszylinder 6 ist im gezeigten Ausführungsbeispiel in der Form ausgelegt, dass der Arbeitskolben 7 einen möglichst langen Hub machen kann und vergleichsweise langsam bewegt

wird (z. B. 2m/Sec.), dabei aber auf einem Großteil seines Hubes eine konstante Kraft und damit ein konstantes Drehmoment auf die Räder 10 und 11 überträgt. Bei einer solch geringen Kolbengeschwindigkeit würden die Wirkverluste bei einem Abtrieb über eine - beim Stand der Technik in der Regel verwendete - Kurbelwelle und dem sehr gleichmäßigen Arbeitsdruck deutlich über 40% betragen. Zudem wäre eine wirklich eckige Steuerung ohne den hier realisierbaren Stillstand des Arbeitskolbens nicht möglich, weil auch für das Verschieben der Verdrängerkolben 2a und 2b Zeit gebraucht wird. Diese Nachteile eines Kurbelwellenabtriebs sind durch den hier gezeigten Kettentrieb vermieden. Die Masse und die Geschwindigkeit der beweglichen Teile im Arbeitszylinder 6 sind so gering, dass unmittelbar nach dem Absetzen des Druckunterschiedes zwischen den Druckbereichen 19 und 20 der Arbeitskolben 7 alleine durch die Reibung der notwendigen Dichtungen oder Kolbenringe zum Stillstand kommt.

**[0021]** Um die Bewegung des Arbeitskolbens in die gewünschte Form mechanischer Energie möglichst effektiv umwandeln zu können, ist der Arbeitskolben 7 im hier gezeigten Ausführungsbeispiel mit einer flexiblen Übertragungseinrichtung zwangsgekoppelt, welche die Bewegung des Arbeitskolbens 7 auf die Räder 10 und 11 überträgt. Die flexible Übertragungseinrichtung ist im gezeigten Ausführungsbeispiel als eine Kette 9 ausgebildet. Diese kann aber auch durch ein Band o. dgl. ersetzt sein. Günstig ist es dabei, wenn die Übertragungseinrichtung bei den auf sie einwirkenden Kräften keine relevante Dehnung erfährt. Die Übertragungseinrichtung liegt auf den Mantelflächen 37 der Räder 10 und 11 beziehungsweise auf und ist so um die Räder 10 und 11 herumgeführt. Dabei sollte die Übertragungseinrichtung so gespannt sein, dass kein Schlupf entsteht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht der Abstand zwischen dem Punkt 38, auf dem die Übertragungseinrichtung auf die Mantelfläche 37 des jeweiligen Rades 10 oder 11 auftrifft, und dem Punkt 39, an dem die Übertragungseinrichtung die Mantelfläche 37 des jeweiligen Rades 10 oder 11 verlässt, im Wesentlichen dem Durchmesser des jeweiligen Rades 10 oder 11. Im Wesentlichen ist dabei in diesem Sinne zu verstehen, dass der genannte Abstand zumindest 90%, vorzugsweise zumindest 95%, des Raddurchmessers beträgt. Der in der Übertragungseinrichtung bzw. Kette 9 vorgesehene Gegenkolben 8 ist eine Dichtung im Gegenzylinder 18, die im Wesentlichen der Trennung der beiden Druckbereiche 19 und 20 dient. Der Gegenkolben 8 ist vorzugsweise mit der Kette 9 zwangsgekoppelt und entsprechend dem Hub des Arbeitskolbens 7 im Gegenzylinder 18 hin und her bewegbar. Der minimale Durchmesser des Gegenzylinders 18 wird von der erforderlichen Dicke der Übertragungseinrichtung bzw. der Kette 9 bestimmt, welche sich wiederum aus der Zugkraft des Arbeitskolbens 7 ergibt.

**[0022]** Der Abtrieb der Bewegung des Arbeitskolbens 7 bzw. der Kette 9 erfolgt über zumindest eine der beiden Wellen 21 der Räder 10 oder 11. Hierzu kann die jeweils

als Abtrieb dienende Welle 21 mit einem entsprechenden Getriebe gekoppelt sein. Dies kann z. B. zur Über- oder Untersetzung der Rotationsgeschwindigkeit dienen. Es kann aber z. B. über entsprechende Schwungmassen 5 auch vorgesehen sein, mittels des Getriebes die diskontinuierliche Bewegung des Arbeitskolbens 7 in eine kontinuierliche Rotations- oder Linearbewegung zu übersetzen. Darüber hinaus kann das Getriebe auch eine Gleichrichterfunktion wahrnehmen, welche die Hin- und Herbewegung des Arbeitskolbens 7 und damit auch der Kette 10 9 in eine gleichsinnige Rotations- oder Linearbewegung übersetzt. Geeignete Getriebe sind beim Stand der Technik bekannt, sodass eine gesonderte Darstellung dieser Getriebe hier entfallen kann.

**[0023]** Optional kann am Arbeitszylinder 6 die hier dargestellte Arbeitszylinderheizung 28 vorgesehen sein. Sie hat im gezeigten Ausführungsbeispiel einen Zulauf 35 und einen Ablauf 36 für ein entsprechendes Heizmedium und dient der zusätzlichen Erwärmung des Arbeitsmediums 20 im Arbeitszylinder 6.

**[0024]** Im Folgenden wird ein Verfahren zum Betrieb der gezeigten Wärmekraftmaschine erläutert. Dabei wird von ihrem Zustand gemäß Fig. 1 aus gegangen. In diesem Zustand ist der Verdrängerkolben 2a im Verdrängerzylinder 1a in seiner oberen Position bzw. Endlage und isoliert den warmen Teilbereich. Im Verdrängerzylinder 1b ist die Stellung zwangsläufig umgekehrt. Hier ist das Arbeitsmedium aus dem gekühlten Teilbereich vom Verdrängerkolben 2b vollständig in den Teilbereich der Heizung 15 verdrängt. Das Druckausgleichsventil 4 ist in diesem Zustand geschlossen. Im doppelt wirkenden Arbeitszylinder 6 ist der doppelt wirkende Arbeitskolben 7 kurz vor dem ersten Totpunkt 24 im Druckbereich 19. Die Bewegungsrichtung des Arbeitskolbens 7 ist durch 25 den im Arbeitszylinder 6 abgebildeten Pfeil dargestellt. Das unter erhöhter Temperatur und Druck stehende Arbeitsmedium bewegt den Arbeitskolben 7 so lange nach links, bis dieser den ersten Tot- bzw. Umkehrpunkt 24 erreicht, in welchem der Arbeitskolben 7 zum Stillstand 30 kommt. Das bei herkömmlichen Stirling-Motoren nicht mögliche plötzliche Abreißen des Druckunterschiedes zwischen den beiden Druckbereichen 19 und 20 wird durch das Öffnen des Druckausgleichsventils 4 bewirkt und ermöglicht den Stillstand des Arbeitskolbens 7. Dies 35 ist in Fig. 2 dargestellt. Durch das Öffnen des Druckausgleichsventils 4 wird nicht nur Druck sondern auch Temperatur und Masse zwischen den Druckbereichen 19 und 20 verschoben. Ein Teil des unter Druck stehenden heißen Arbeitsmediums aus dem Verdrängerzylinder 1b wird in den Verdrängerzylinder 1a befördert bzw. geblasen, was neben dem Druckausgleich, welcher den Arbeitskolben 7 zum Stillstand bringt, auch das kalte drucklose Arbeitsmedium im Verdrängerzylinder 1a vorwärm 40 und vorverdichtet. Durch die rasche Abkühlung und den damit verbundenen Volumenverlust des heißen Arbeitsmediums aus dem Verdrängerzylinder 1b beim Eintreten 45 in das kalte Arbeitsmedium im Verdrängerzylinder 1a wird ein hoher Füllgrad erreicht. Zusätzlich wird aber 50 55

auch eine innere Abkühlung und ein Druckverlust im Verdrängerzylinder 1b bewirkt, welcher zusätzlich leistungssteigernd ist. Die auf diese Weise in den neuen Arbeitstakt eingebrochene Energie hat schon gearbeitet und müsste ohne den durch das Ventil 4 möglichen Druckausgleich bis auf den in den Regeneratoren 23 speicherbaren Teil der Wärme über die Kühlung 13 ausgetragen werden. Nach Erreichen des Druckausgleichs wird das Druckausgleichsventil 4 geschlossen. Es befinden sich jetzt je nach Grunddruck und Temperaturunterschied bis über 75% des gesamten in der Wärmekraftmaschine befindlichen Arbeitsmediums im kalten Bereich des Verdrängerzylinders 1a. Die dadurch im heißen Verdrängerzylinder 1b jetzt fehlende Wärme muss weder von den Regeneratoren 23 noch von der Kühlung 13 ausgetragen werden. Die nun folgende Kühlung des schon entspannten Mediums im Verdrängerzylinder 1b führt zu einem leistungssteigernden erheblichen Unterdruck gegenüber dem Grunddruck. Jetzt erst wird die Bewegung der Verdrängerkolben 2a und 2b über den Steuerzylinder 5, die Steuerkette 16 und die Kolbenstangen 17 eingeleitet. Hierfür können auch andere gewichtsausgleichende Konstruktionen wie z. B. Kipphebel eingesetzt werden. Schon nach weniger als 20% des Hubweges der Verdrängerkolben 2a und 2b wird ausreichend Druckunterschied erzeugt um den Arbeitskolben 7 wieder in Richtung der zweiten Totpunktage 25 des Druckbereichs 20 in Bewegung zu setzen. Ohne den Druckausgleich über das Ventil 4 könnte frühestens nach 50% des Hubweges der Verdrängerkolben 2a und 2b überhaupt erst ein Druckausgleich und damit Bewegung des Arbeitskolbens 7 stattfinden. Darüber hinaus wird durch die gezeigte Ausführungsform die negative Wirkung von Totraum in der Maschine durch die Vorverdichtung bzw. Vorentspannung deutlich vermindert. Die maximal dem Temperaturunterschied entsprechende Arbeitsdruckdifferenz und damit auch die Leistung der Wärmekraftmaschine werden verdoppelt.

**[0025]** Fig. 3 zeigt den Zeitpunkt, zu dem die Verdrängerkolben 2a und 2b ihre gegenüberliegenden Endlagen erreicht haben. Zu diesem Zeitpunkt hat der Arbeitskolben 7 je nach Bauart bereits 10% bis 20% seines Hubweges zwischen seinen Tot- bzw. Umkehrpunkten 24 und 25 abgefahren. Die Wärmetauschflächen in den Verdrängerzylindern 1a und 1b haben je nach Bauart ca. 2 bis 5 Sekunden, also mehr als hundert mal so lange wie bei herkömmlichen Stirling-Serientypen, Zeit gehabt, um auch geringe Temperaturunterschiede wirkungsvoll zu übertragen. Die einsetzende kontinuierliche Volumendehnung schiebt den Arbeitskolben 7 annähernd gleichmäßig voran, bis kurz vor Erreichen des zweiten Totpunktes 25 das Druckventil 4 wieder geöffnet und ein neuer Arbeitstakt eingeleitet wird.

**[0026]** Die Zeitpunkte zum Öffnen des Druckausgleichsventils 4 können durch hier nicht explizit eingezeichnete Sensoren bestimmt werden, welche erfassen, wann der Arbeitskolben 7 eine entsprechende Position kurz vor dem jeweiligen Totpunkt 24 oder 25 erreicht hat.

Das Schließen des Ventils 4 wie auch der richtige Zeitpunkt zum Bewegen der Verdrängerkolben 2a und 2b kann in Abhängigkeit dieses Zeitpunktes wie z. B. durch Vorgabe entsprechender Zeitdifferenzen vorgegeben werden. Es ist aber auch eine Druckmessung in den Druckbereichen 19 und/oder 20 zur Bestimmung dieser Zeitpunkte möglich.

**[0027]** Durch Öffnen des Ventils 4 zu dem genannten Zeitpunkt im Arbeitszyklus strömt nun unter Druck und erhöhter Temperatur stehendes Arbeitsmedium vom Verdrängerzylinder 1a in den Verdrängerzylinder 1b, also in die im Vergleich zu der in Fig. 2 dargestellten Situation umgekehrte Richtung. Entsprechend wird dann nach Schließen des Ventils 4 und Einleitung der Bewegung der Verdrängerkolben 2a und 2b wieder eine Bewegung des Arbeitskolbens 7 in Richtung des ersten Totpunktes 24 eingeleitet. Es findet somit ein der Abfolge gemäß der Fig. 1 bis 3 spiegelbildlich entgegengesetzter Bewegungsablauf statt, bis wieder die Situation gemäß Fig. 1 erreicht wird.

**[0028]** Die Stehzeit des Arbeitskolbens 7 in seinen Totpunkten 24 und 25 beträgt dabei ca. 1/10 der Zeit, in der er einen seiner Hübe auf dem Weg zwischen den beiden Totpunkten 24 und 25 ausführt. Wie beim Stirling-Motor bleibt das Arbeitsmedium bzw. Gas innerhalb der Wärmekraftmaschine und wird nicht ausgetauscht. Die gezeigte Wärmekraftmaschine produziert selbst somit keine Abgase oder Emissionen.

**[0029]** Abschließend wird noch darauf hingewiesen, dass in dem geschlossenen Kreislauf des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels natürlich auch mehr als nur ein Arbeitszylinder vorgesehen sein kann. So ist es durchaus möglich, mehrere Arbeitszylinder z. B. parallel zueinander anzuordnen und mit den Verdrängerzylindern 1a und 1b zu verbinden.

#### Legende zu den Hinweisziffern:

#### [0030]

- |    |                    |
|----|--------------------|
| 1a | Verdrängerzylinder |
| 1b | Verdrängerzylinder |
| 2a | Verdrängerkolben   |
| 2b | Verdrängerkolben   |
| 3a | Verbindungsleitung |
| 3b | Verbindungsleitung |
| 4  | Ventil             |
| 5  | Steuerzylinder     |
| 6  | Arbeitszylinder    |
| 7  | Arbeitskolben      |
| 8  | Gegenkolben        |
| 9  | Kette              |
| 10 | Rad                |
| 11 | Rad                |
| 12 | Kühlung            |
| 13 | Kühlung            |
| 14 | Heizung            |
| 15 | Heizung            |

16	Steuerkette
17	Kolbenstange
18	Gegenzylinder
19	Druckbereich
20	Druckbereich
21	Lagerwelle
22	Durchtrittsöffnung
23	Regenerator
24	erster Totpunkt
25	erster Totpunkt
26	Kolbenstangendichtung
27	Aktuator
28	Arbeitszylinderheizung
29	Zulauf
30	Ablauf
31	Zulauf
32	Ablauf
33	Zulauf
34	Ablauf
35	Zulauf
36	Ablauf
37	Mantelfläche
38	Punkt
39	Punkt

### Patentansprüche

- Wärmekraftmaschine zur Erzeugung von mechanischer Energie mit einem ersten Zylinder und einem Arbeitszylinder (6) in dem ein Arbeitskolben (7) bewegbar gelagert ist, wobei zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder (6) zumindest eine Verbindung vorgesehen ist, über die ein Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem Arbeitszylinder (6) austauschbar ist, und wobei eine Heizung (14) zum Beheizen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder und eine Kühlung (12) zum Kühlen des Arbeitsmediums im ersten Zylinder vorgesehen sind, wobei zumindest ein zusätzlicher Zylinder vorgesehen ist, welcher über ein absperrbares Ventil (4) mit dem ersten Zylinder in Verbindung bringbar ist, wobei durch Öffnen des Ventils (4) eine Überströmmöglichkeit für das Arbeitsmedium zwischen dem ersten Zylinder und dem zusätzlichen Zylinder bereitstellbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ventil (4) in einem offenen Zustand ein Überströmen des Arbeitsmediums vom ersten Zylinder in den zusätzlichen Zylinder und in umgekehrter Richtung vom zusätzlichen Zylinder in den ersten Zylinder erlaubt.
- Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Heizung (15) zum Beheizen des Arbeitsmediums im zusätzlichen Zylinder und eine Kühlung (13) zum Kühlen des Arbeitsmediums im zusätzlichen Zylinder vorgesehen sind.
- Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Zylinder ein Verdrängerzylinder (1a) ist, in dem ein Verdrängerkolben (2a) bewegbar gelagert ist.
- Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zusätzliche Zylinder ein zusätzlicher Verdrängerzylinder (1b) ist, in dem ein zusätzlicher Verdrängerkolben (2b) bewegbar gelagert ist.
- Wärmekraftmaschine nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdrängerkolben (2a) und der zusätzliche Verdrängerkolben (2b) jeweils über eine Aufhängung im Wesentlichen frei hängend im Verdrängerzylinder (1a) bzw. im zusätzlichen Verdrängerzylinder (1b) gelagert sind.
- Wärmekraftmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdrängerkolben (2a) und der zusätzliche Verdrängerkolben (2b) über ihre Aufhängungen miteinander bezüglich ihrer Bewegbarkeit zwangsgekoppelt sind.
- Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** im und/oder am Verdrängerkolben (2a) und/oder im und/oder am zusätzlichen Verdrängerkolben (2b) vom Arbeitsmedium durchströmbar Überströmöffnungen (22) vorhanden sind.
- Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** im und/oder am Verdrängerkolben (2a) und/oder im und/oder am zusätzlichen Verdrängerkolben (2b) zumindest ein Regenerator (23) zur Zwischenspeicherung von Wärme vorgesehen ist, welcher vorzugsweise mit den gegebenenfalls vorhandenen Überströmöffnungen (22) in wärmeleitender Verbindung steht.
- Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitskolben (7) im Arbeitszylinder (6) von zwei gegenüberliegenden Seiten mit Arbeitsmedium beaufschlagbar ist.
- Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zumindest bereichsweise flexible Übertragungseinrichtung, vorzugsweise eine Kette (9) oder ein Band, zur Übertragung der Bewegung des Arbeitskolbens (7) auf zumindest ein Rad (10, 11), vorzugsweise zwei Räder (10, 11), vorgesehen ist.
- Wärmekraftmaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flexible Übertragungseinrichtung zur Übertragung der Bewegung des Arbeitskolbens (7) bereichsweise auf einer Mantelflä-

che (37) des Rades (10, 11) oder der Räder (10, 11) aufliegend um das Rad (10, 11) oder die Räder (10,11) herumgeführt ist.

12. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 11, **dadurch** 5  
**gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen dem Punkt (38), auf dem die Übertragungseinrichtung auf die Mantelfläche (37) des jeweiligen Rades (10, 11) auftrifft, und dem Punkt (39), an dem die Übertragungseinrichtung die Mantelfläche (37) des jeweiligen Rades (10,11) verlässt, im Wesentlichen dem Durchmesser des jeweiligen Rades (10, 11) entspricht.
13. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 15  
bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximal mögliche Hub des Arbeitskolbens (7) im Arbeitszylinder (6) zumindest das Zwanzigfache, vorzugsweise das bis zu Fünfzigfache, des maximalen Durchmessers der inneren Öffnungsweite des Arbeitszylinders (6) beträgt.
14. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 20  
bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Arbeitsmedium ein Gas, vorzugsweise Luft, vorgesehen ist. 25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

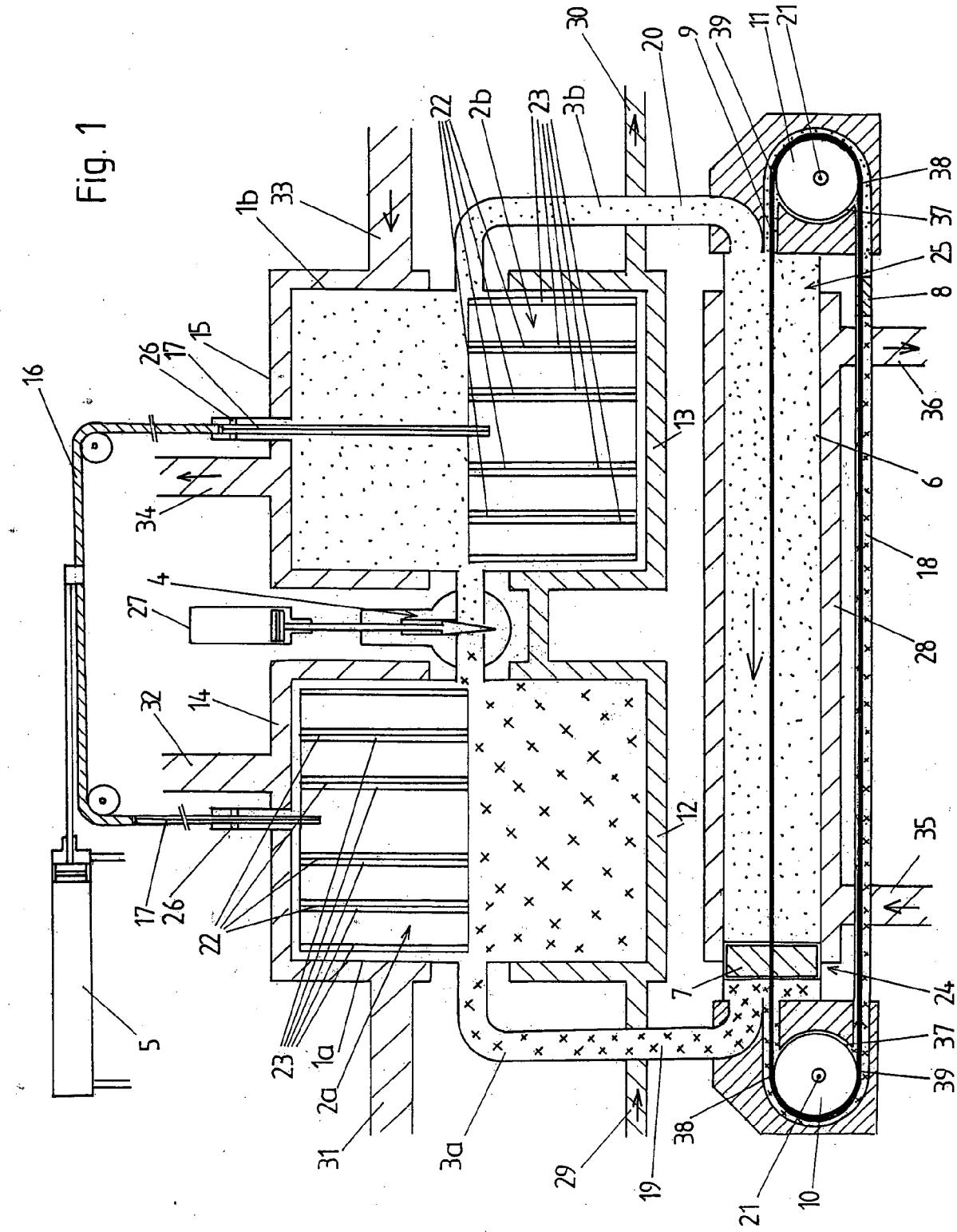


Fig. 2

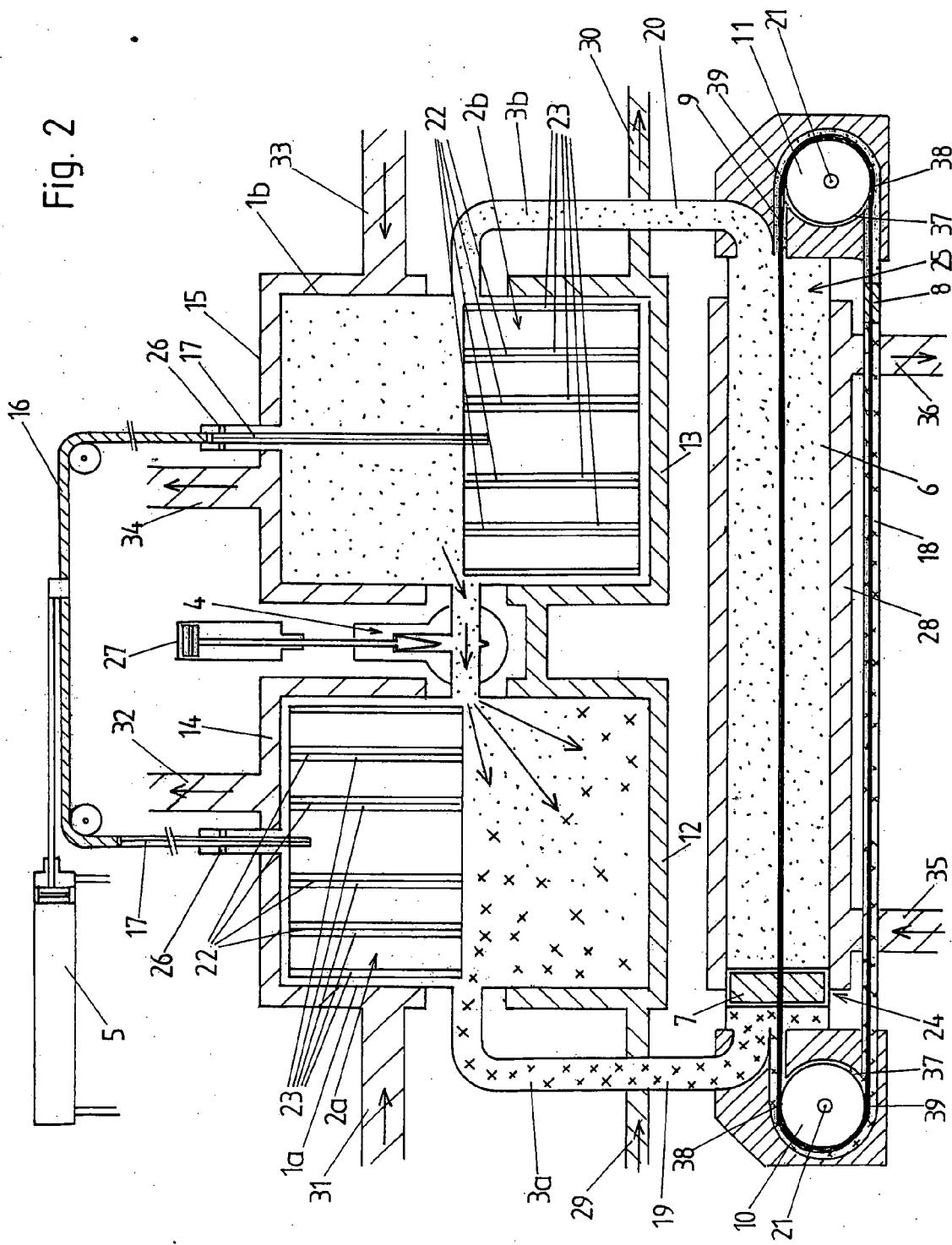
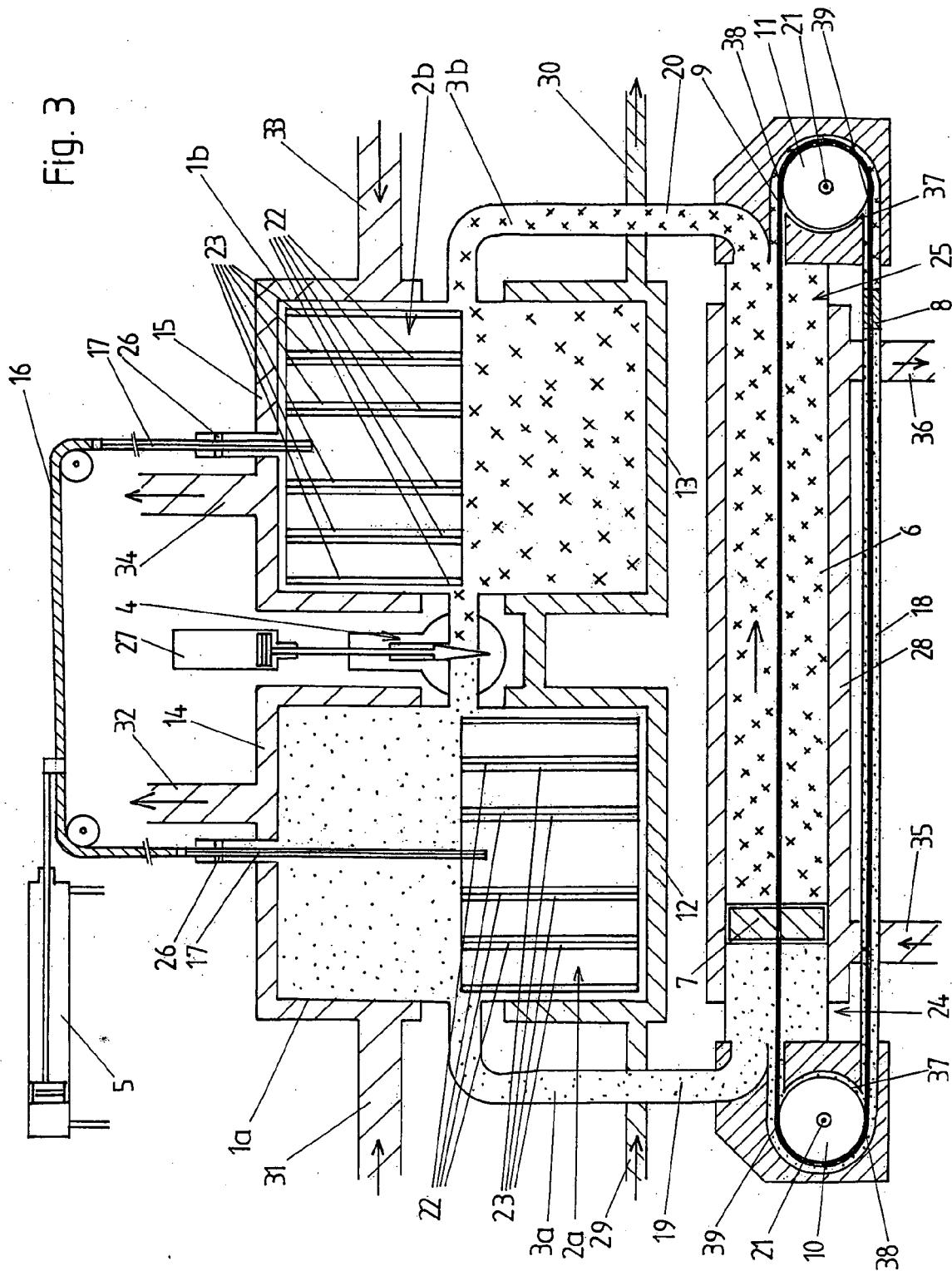


Fig. 3



**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**

- EP 1116872 A1 [0003]
- US 3248870 A [0003]