

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 117/2011  
(22) Anmeldetag: 28.01.2011  
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2012

(51) Int. Cl. : **F01K 25/02** (2006.01)  
**F01K 27/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 10247387A1 GB 1454505A  
WO 2003/081011A1

(73) Patentinhaber:  
LOIDL WALTER DIPL.ING.  
A-1150 WIEN (AT)

(54) **WÄRMEKRAFTMASCHINE**

(57) Wärmekraftmaschine (1) mit zumindest zwei Zylinder-Kolbeneinheiten (2 - 5), die jeweils ein unter einem Vorspanndruck stehendes Dehnungsfluid (8) enthalten, einer Einrichtung (16 - 20) zur individuell steuerbaren Wärmezufuhr zum Dehnungsfluid (8) jeder Zylinder-Kolbeneinheit (2 - 5), und einer die Wärmezufuhreinrichtung (16 - 20) steuernden Steuereinrichtung (21), wobei die Kolben (7) der Zylinder-Kolbeneinheiten (2 - 5) von einem gemeinsamen Vorspannfluid (9) beaufschlagt sind, das Vorspannfluid (9) von den Zylinder-Kolbeneinheiten (2 - 5) über erste Rückschlagventile (12') zu einem Eingang (11') und über entgegengesetzt gerichtete zweite Rückschlagventile (12'') zu einem Ausgang (11'') einer hydraulischen Last (10) geführt ist, die Steuereinrichtung (21) mit einem ersten Druckmesser (22') für den Druck ( $p_2$ ) des Vorspannfluids (9) am Ausgang (11'') der Last (10) ausgestattet ist, und die Steuereinrichtung (21) die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhreinrichtung (16-20) zumindest in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsdruck ( $p_2$ ) steuert, um diesen innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs ( $p_{2,min}$ ,  $p_{2,max}$ ) zu halten.

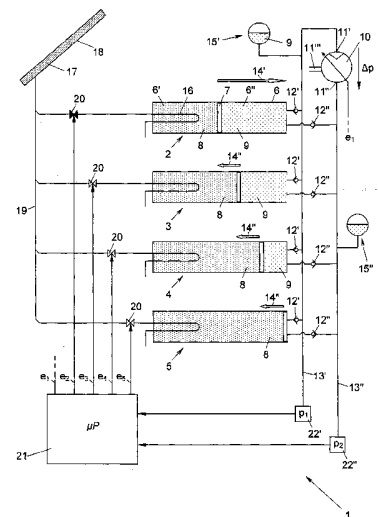


Fig. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine, insbesondere für den Niedertemperaturbetrieb zur Verwertung von Solarwärme, Abwärme aus biologischen oder industriellen Prozessen od.dgl., mit:

**[0002]** zumindest zwei Zylinder-Kolbeneinheiten, die jeweils ein unter einem Vorspanndruck stehendes Dehnungsfluid enthalten, welches bei einer Temperaturänderung sein Volumen ändert und so den Kolben bewegt,

**[0003]** einer Einrichtung zur individuell steuerbaren Wärmezufuhr zum Dehnungsfluid jeder Zylinder-Kolbeneinheit, und

**[0004]** einer die Wärmezufuhreinrichtung steuernden Steuereinrichtung, um jedes Dehnungsfluid abwechselnd zu erwärmen und abzukühlen und dadurch die Kolben zu bewegen,

**[0005]** wobei die Kolben der Zylinder-Kolbeneinheiten von einem gemeinsamen Vorspannfluid beaufschlagt sind, welches darin einen Vorspanndruck auf das jeweilige Dehnungsfluid ausübt.

**[0006]** Eine derartige Wärmekraftmaschine ist aus der WO 2009/082773 bekannt. Wirksame Dehnungsfluide erfordern häufig einen bestimmten Vorspanndruck, um im gewünschten Betriebstemperaturbereich einen signifikanten Dehnungskoeffizienten zu zeigen. Ein Beispiel dafür ist flüssiges Kohlendioxid, welches unter einem Druck von ca. 60-70 bar bei einer Erwärmung von 20°C auf 30°C sein Volumen um das etwa 2,2-fache ändert.

**[0007]** Bei der aus der WO 2009/082773 bekannten Wärmekraftmaschine errichtet das gemeinsame Vorspannfluid einen gemeinsamen, einheitlichen Vorspanndruck in allen Zylinder-Kolbeneinheiten, indem jene Zylinderräume, welche den Zylinderräumen mit den Dehnungsfluiden gegenüberliegen, direkt miteinander strömungsverbunden sind. Das gemeinsame Vorspannfluid erreicht eine variable, dynamische Kopplung der Zylinder-Kolbeneinheiten. Die Arbeit der Zylinder-Kolbeneinheiten wird bei der bekannten Konstruktion über Kolbenstangen mechanisch auf Arbeitskolben übertragen, die auf ein gemeinsames Arbeitsfluid wirken, das in einem hydraulischen Lastkreis über Rückschlagventile zirkuliert.

**[0008]** Die Erfindung setzt sich zum Ziel, die Auskopplung der Arbeit aus den Zylinder-Kolbeneinheiten einer Wärmekraftmaschine der einleitend genannten Art zu vereinfachen und damit auch ihren Wirkungsgrad weiter zu erhöhen.

**[0009]** Dieses Ziel wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass das Vorspannfluid von den Zylinder-Kolbeneinheiten über erste Rückschlagventile zu einem Eingang und über entgegengesetzt gerichtete zweite Rückschlagventile zu einem Ausgang einer hydraulischen Last geführt ist, in der es einem Druckabfall zwischen Ein- und Ausgang unterliegt,

**[0010]** die Steuereinrichtung mit einem ersten Druckmesser für den Druck des Vorspannfluids am Ausgang der Last ausgestattet ist, und

**[0011]** die Steuereinrichtung die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhreinrichtung zumindest in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsdruck steuert, um diesen innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs zu halten,

**[0012]** wobei das Dehnungsfluid flüssiges Kohlendioxid enthält und die untere Bereichsgrenze des genannten vorgegebenen ersten Bereichs größer oder gleich dem Verflüssigungsdruck von Kohlendioxid bei der Arbeitstemperatur ist.

**[0013]** Flüssiges Kohlendioxid eignet sich aufgrund seines hohen Wärmedehnungskoeffizienten bei Raumtemperatur besonders für einen Betrieb der Wärmekraftmaschine im Niedertemperaturbereich zur Ausnützung von Solarwärme, Abwärme aus biologischen oder industriellen Prozessen od.dgl. Darüber hinaus kann damit aus Verbrennungsprozessen anfallendes Kohlendioxid einer nutzbringenden Sekundärverwertung zugeführt werden, in der es keinen umweltschädlichen Treibhauseffekt hervorruft. Die Wärmekraftmaschine der Erfindung leistet demgemäß auch einen Beitrag zur umweltschonenden CO<sub>2</sub>-Sequestrierung im Sinne eines „Carbon

Dioxide Capture and Storage"-Prozesses (CSS).

**[0014]** Das Vorspannfluid wird dabei gleichzeitig als Arbeitsfluid eingesetzt und umgekehrt: Durch Errichtung zweier Druckniveaus im Vorspannfluid, die über die genannten Rückschlagventile bei der Ausfahrbewegung (hoher Druck) und Einfahrbewegung (niederer Druck) der Kolben voneinander separiert sind, kann eine Druckdifferenz erhalten werden, welche direkt für den Antrieb einer hydraulischen Last verwendet und dort in mechanische Arbeit umgesetzt werden kann. Die Steuerung der Erwärm- und Abkühlphasen in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsdruck der hydraulischen Last gewährleistet, dass der Vorspanndruck auch auf seinem niederen Druckniveau jedenfalls den erforderlichen Mindest-Vorspanndruck für den Betrieb des Dehnungsfluids erreicht. Der genannte erste vorgegebene Bereich ist dazu so gewählt, dass seine untere Bereichsgrenze über dem Mindest-Vorspanndruck des Dehnungsfluids liegt.

**[0015]** Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Wärmekraftmaschine der Erfindung weist zumindest drei Zylinder-Kolbeneinheiten auf und zeichnet sich dadurch aus, dass die Steuereinrichtung die Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten, die sich zu einem Zeitpunkt in der Erwärmphase befinden, gegenüber der Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten, welche sich zum selben Zeitpunkt in der Abkühlphase befinden, erhöht, wenn der Ausgangsdruck den vorgegebenen ersten Bereich unterschreitet, und verringert, wenn der Ausgangsdruck den vorgegebenen ersten Bereich überschreitet. Dadurch kann der Betrieb an besonders stark schwankende Umgebungsbedingungen angepasst werden. Beispielsweise können in den temperaturschwachen Morgen- oder Abendstunden einer Solaranlage etwa gleich viele Zylinder-Kolbeneinheiten in der Erwärm- und in der Abkühlphase betrieben werden, hingegen in der Mittagshitze wenige rasch erwärmende Zylinder-Kolbeneinheiten vielen langsam abkühlenden Zylinder-Kolbeneinheiten gegenüberstehen.

**[0016]** Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung kann die Steuereinrichtung zur Feinjustierung auch jede einzelne Erwärm- und/oder Abkühlphasen verkürzen oder verlängern, um den Ausgangsdruck innerhalb des vorgegebenen ersten Bereichs zu halten.

**[0017]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Steuereinrichtung mit einem zweiten Druckmesser für den Druck des Vorspannfluids am Eingang der Last ausgestattet und steuert die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhreinrichtung auch in Abhängigkeit von dem gemessenen Eingangsdruck, um diesen innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs zu halten. Damit kann z.B. die Druckdifferenz für die hydraulische Last so geregelt werden, dass sie dem Druckabfall an der Last entspricht oder die in der Last umgesetzte Arbeit durch Vorgabe der Druckdifferenz gesteuert werden.

**[0018]** Auch zur Regelung des Ausgangsdrucks kann die Steuereinrichtung bevorzugt die Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten, die sich zu einem Zeitpunkt in der Erwärmphase befinden, gegenüber der Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten, welche sich zum selben Zeitpunkt in der Abkühlphase befinden, erhöhen, wenn der Eingangsdruck den vorgegebenen zweiten Bereich unterschreitet, und verringern, wenn der Eingangsdruck den vorgegebenen zweiten Bereich überschreitet.

**[0019]** Zur Feinregulierung der Ausgangsdruckregelung kann die Steuereinrichtung die Erwärm- und/oder Abkühlphasen auch individuell verkürzen oder verlängern, um den Eingangsdruck innerhalb des vorgegebenen zweiten Bereichs zu halten.

**[0020]** Da der Eingangsdruck aufgrund des Druckabfalls an der hydraulischen Last immer über dem Ausgangsdruck liegt, kann in einer vereinfachten Ausführungsform vorgesehen werden, dass der erste und der zweite Bereich gleich sind, wodurch sich eine Minimalgrenze für den Ausgangsdruck und eine Maximalgrenze für den Eingangsdruck ergibt.

**[0021]** Bevorzugt werden jedoch für den Eingangsdruck und den Ausgangsdruck unterschiedliche Regelungsbereiche vorgesehen, d.h. der vorgegebene zweite Bereich kann überlappend, anschließend oder in einem Abstand zum ersten Bereich liegen, um individuelle Minimal- und Maximalgrenzen für die Regelung der Ein- und Ausgangsdrücke zu errichten. Bevorzugt liegen

die beiden Bereiche in einem Abstand voneinander. Besonders bevorzugt unterscheidet sich die Untergrenze des zweiten Bereichs von der Obergrenze des ersten Bereichs um etwa den Druckabfall an der Last, so dass für die Last eine Mindest-Druckdifferenz garantiert werden kann.

**[0022]** Das Vorspannfluid kann an sich beliebiger Art sein, beispielsweise Druckluft. Besonders bevorzugt ist das Vorspannfluid jedoch Hydraulikflüssigkeit, was eine kraftschlüssige und zuverlässige Druckkopplung ergibt. Bevorzugt wird dabei an den Eingang der hydraulischen Last ein erster elastischer Zwischenspeicher und/oder an deren Ausgang ein zweiter elastischer Zwischenspeicher für das Vorspannfluid angeschaltet, so dass kurzfristige Druckschwankungen bei Umschaltvorgängen oder bei steuerungsnotwendigen individuellen Verkürzungen oder Verlängerungen der Erwärm- und Abkühlphasen vorübergehend absorbiert werden können.

**[0023]** Die Beaufschlagung der Kolben mit dem Vorspannfluid kann auf verschiedenste Arten erfolgen, beispielsweise durch mechanische Ankopplung gesonderter hydraulischer Vorspannzylinder an die Zylinder-Kolbeneinheiten. Bevorzugt werden die Kolben der Zylinder-Kolbeneinheiten gleich als doppelwirkende Kolben ausgebildet, auf deren eine Seite das Dehnungsfluid und auf deren andere Seite das Vorspannfluid einwirkt, was einen besonders einfachen Aufbau ergibt.

**[0024]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Wärmezufuhreinrichtung für jede Zylinder-Kolbeneinheit einen von einem Wärmeträgermedium durchströmten Wärmetauscher aufweist, der mit einem von der Steuereinrichtung gesteuerten Sperrventil versehen ist. Durch einfaches Öffnen und Schließen der Sperrventile können die Zeitpunkte und Zeitdauern der Erwärmphasen vorgegeben werden, zwischen denen sich dann die Abkühlphasen ergeben.

**[0025]** Die Abkühlphasen können beschleunigt werden, wenn die Wärmezufuhreinrichtung bevorzugt auch eine Einrichtung zur Zwangsabkühlung der Dehnungsfluide in den Abkühlphasen umfassen. Zu diesem Zweck ist es besonders günstig, wenn das Wärmeträgermedium in der Erwärmphase unter Druck steht und die Zwangsabkühlleinrichtung eine steuerbare Druckentspannungseinrichtung für jeden Wärmetauscher aufweist. Dadurch kann das Wärmeträgermedium gleichzeitig als Kühlmittel verwendet werden, indem es durch Druckentspannung zur Abkühlung veranlasst wird.

**[0026]** Bevorzugt umfasst die Druckentspannungseinrichtung einen Unterdruck-Zwischenspeicher, der über ein steuerbares Schaltventil an den Wärmetauscher anschaltbar ist, wodurch eine schlagartige Entspannung und damit besonders rasche Abkühlung erreicht werden kann.

**[0027]** Alternativ oder zusätzlich können die Zylinder-Kolbeneinheiten mit einer eigenen Einrichtung zur Zwangsabkühlung der Dehnungsfluide in den Abkühlphasen ausgestattet sein, welche direkt von der Bewegung ihrer Kolben gesteuert ist. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform umfasst eine solche Zwangsabkühlleinrichtung für die Zylinder-Kolbeneinheiten:

**[0028]** eine von der Zylinder-Kolbeneinheit angetriebene Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit mit zumindest einem Zylinderraum,

**[0029]** einen mit dem Dehnungsfluid in Wärmeleitungsverbindung stehenden Behälter mit einem Verdampfungsmittel,

**[0030]** wobei der Behälter über zumindest ein durch die Kolbenbewegung der Zylinder-Kolbeneinheit freistuerbares Rückschlagventil mit dem genannten einen Zylinderraum verbunden ist.

**[0031]** Durch entsprechende Steuerung des Rückschlagventils kann z.B. erreicht werden, dass sich bei der Erwärmung und Ausdehnung des Dehnungsfluids - bei zunächst geschlossenem Rückschlagventil - im genannten einen Hilfs-Zylinderraum zunehmend Unterdruck einstellt, während das Verdampfungsmittel im anderen Hilfs-Zylinderraum gleichzeitig komprimiert wird. Am Ende der Ausdehnungsbewegung des Dehnungsfluids wird durch entsprechende Steue-

rung das bis dahin geschlossene Rückschlagventil zwangsgeöffnet und das Verdampfungsmittel expandiert schlagartig in den einen Hilfs-Zylinderraum, kühlt sich dabei ab und bewirkt damit eine Zwangsabkühlung des Dehnungsfluids, die das Einfahren des Kolbens unterstützt bzw. beschleunigt. Bevorzugt wird dazu vorgesehen, dass der Behälter über den anderen Zylinderraum und diesem nachgeordnet das Rückschlagventil mit dem genannten einen Zylinderraum der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit in Strömungsverbindung steht.

**[0032]** In einer alternativen Ausführungsform wird das Verdampfungsmittel bei der Einfahrbewegung des sich abkühlenden Dehnungsfluids komprimiert, bleibt bei der Ausfahrbewegung in komprimiertem Zustand und entspannt sich dann schlagartig durch das Zwangsöffnen der Rückschlagventile in der Endstellung der Ausfahrbewegung. Dazu steht der Behälter bevorzugt direkt - d.h. nicht über den anderen Zylinderraum - über das Rückschlagventil mit dem genannten einen Zylinderraum der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit in Strömungsverbindung.

**[0033]** Bevorzugt ist das Rückschlagventil direkt im Kolben der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit angeordnet und durch das Anschlagen des Kolbens in seiner einen Endstellung gesteuert, was einen sehr kompakten Aufbau ergibt.

**[0034]** Aus demselben Grund ist es besonders günstig, wenn jede Zylinder-Kolbeneinheit mit ihrer Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit axial zusammengebaut ist, wobei ihre Kolben über eine Kolbenstange miteinander verbunden sind.

**[0035]** Bei dieser Ausführungsform wird bevorzugt vorgesehen, dass der Behälter vom Kolben der Zylinder-Kolbeneinheit getragen und die Strömungsverbindung vom Behälter zu dem bzw. den Zylinderräumen durch die Kolbenstange verläuft, was einen sehr kompakten Aufbau und eine störungsunanfällige Integration der Zwangsabkühleinrichtung unter Verwendung einer minimalen Anzahl beweglicher Teile in den Zylinder-Kolbeneinheiten erreicht.

**[0036]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

**[0037]** Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer Wärmekraftmaschine der Erfindung mit vier Zylinder-Kolbeneinheiten;

**[0038]** die Fig. 2a bis 2c Zeitdiagramme der Steuerung der Wärmezufuhreinrichtung und der sich dadurch ergebenden Kolbenbewegungen der Maschine von Fig. 1;

**[0039]** Fig. 3 ein Blockschaltbild einer praktischen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine mit zwei beispielhaften Zylinder-Kolbeneinheiten; und

**[0040]** die Fig. 4a und 4b Prinzipschaltbilder zweier verschiedener Ausführungsformen von Zylinder-Kolbeneinheiten mit integrierten Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheiten als Zwangsabkühleinrichtung.

**[0041]** Fig. 1 zeigt eine Wärmekraftmaschine 1 mit vier Zylinder-Kolbeneinheiten 2 - 5. Jede Zylinder-Kolbeneinheit 2-5 hat einen Zylinder 6, in dem sich ein Kolben 7 zwischen einer eingefahrenen Stellung (gezeigt bei 2) und einer ausgefahrenen Stellung (gezeigt bei 5) bewegen kann.

**[0042]** Der Raum 6' im Zylinder 6 zur linken Seite jedes Kolbens 7 wird vollständig von einem Dehnungsfluid 8 eingenommen. Das Dehnungsfluid 8 hat einen hohen Wärmedehnungskoeffizienten und expandiert bei seiner Erwärmung, um den Kolben 7 von der eingefahrenen in die ausgefahrene Stellung zu bewegen, bzw. kontrahiert bei seiner Abkühlung, um den Kolben 7 wieder zurückzubewegen. Im Raum 6' kann eine mechanische Rührereinrichtung (nicht gezeigt) für das Dehnungsfluid 8 angeordnet werden, um die Wärmeleitung darin zu verbessern.

**[0043]** Im gezeigten Beispiel ist das Dehnungsfluid 8 flüssiges Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das bei Raumtemperatur einen Verflüssigungsdruck von ca. 65 bar hat. Flüssiges CO<sub>2</sub> zeigt im Bereich von 20°C bis 30°C eine Wärmedehnung um das etwa 2,2-fache. Anstelle von reinem flüssigem

Kohlendioxid könnten auch Mischungen von flüssigem Kohlendioxid mit anderen Stoffen als Dehnungsfluid 8 verwendet werden.

**[0044]** Um das CO<sub>2</sub> als Dehnungsfluid 8 in seinem flüssigen Zustand zu halten, wird der Kolben 7 mit einem Vorspanndruck größer oder gleich dem Verflüssigungsdruck in Richtung auf das Dehnungsfluid 8 beaufschlagt bzw. vorgespannt.

**[0045]** Der Vorspanndruck wird von einem Vorspannfluid 9 ausgeübt, das in dem Raum 6" zur rechten Seite jedes Kolbens 7, d.h. auf die dem Dehnungsfluid 8 abgewandte Seite jedes Kolbens 7 wirkt. Das Vorspannfluid 9 - bevorzugt ein Hydrauliköl - zirkuliert in einem allen Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 gemeinsamen Hydraulikkreis, welcher eine hydraulische Last 10 enthält. Die hydraulische Last 10 ist beispielsweise ein Hydraulikmotor mit einem Eingang 11' und einem Ausgang 11", der vom Vorspannfluid 9 durchströmt ist und die Druckenergie bzw. kinetische Energie des Vorspannfluids 9 in mechanische Arbeit für eine Abtriebswelle 11" umwandelt. Zwischen dem Eingang 11' und dem Ausgang 11" der Last 10 tritt dabei ein Druckabfall  $\Delta p$  auf. Anstelle eines Hydraulikmotors könnte auch jede andere Art von hydraulischer Last 10 eingesetzt werden, welche mit einem Druckgefälle  $\Delta p$  antreibbar ist, wie in der Technik bekannt.

**[0046]** Das Vorspannfluid 9 ist von den Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 über einen Satz erster Rückschlagventile 12' und eine erste Sammelleitung 13' zum Eingang 11' der Last 10 geführt, und von deren Ausgang 11" über eine zweite Sammelleitung 13" und einen Satz zweiter Rückschlagventile 12" zurück zu den Zylinderräumen 6" der Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5. Jeder einzelnen Zylinder-Kolbeneinheit 2-5 ist somit ein erstes, in Richtung vom Raum 6" zum Eingang 11' hin öffnendes und in umgekehrter Richtung sperrendes Rückschlagventil 12' zugeordnet, sowie ein vom Ausgang 11" zum Raum 6" hin öffnendes, in umgekehrter Richtung sperrendes zweites Rückschlagventil 12".

**[0047]** Beim Ausfahren eines Kolbens 7 (Pfeil 14') errichtet das Vorspannfluid 9 somit über die ersten Rückschlagventile 12' und die erste Sammelleitung 13' - gleichsam als „Arbeitsfluid" - ein erstes Druckniveau  $p_1$  am Eingang 11' der Last 10 (Eingangsdruck). Beim Einfahren des Kolbens 7 (Pfeil 14") schließt das jeweilige erste Rückschlagventil 12' und öffnet das jeweilige zweite Rückschlagventil 12", so dass das um den Druckabfall  $\Delta p$  verringerte zweite Druckniveau  $p_2$  vom Ausgang 11" der Last 10 („Ausgangsdruck") über die zweite Sammelleitung 13" in die jeweilige Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 rückwirkt und das Dehnungsfluid 8 vorspannend beaufschlagt.

**[0048]** Der Druck des Vorspannfluids 9 in den Räumen 6" der Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 pendelt daher zwischen dem Eingangsdruck (oberen Niveau)  $p_1$  beim Ausfahren (Pfeil 14') und dem Ausgangsdruck (unteren Niveau)  $p_2$  beim Einfahren (Pfeil 14"). Wie später noch ausführlicher erläutert wird, wird durch entsprechende Druckmess- und Steuereinrichtungen dafür Sorge getragen, dass das untere Druckniveau, der Ausgangsdruck  $p_2$ , des Vorspannfluids 9 in keiner Phase der Bewegung 14', 14" den notwendigen Betriebsdruck für das Vorspannfluid 9, z.B. den Verflüssigungsdruck von flüssigem CO<sub>2</sub>, unterschreitet und gleichzeitig die gewünschte oder erforderliche Druckdifferenz  $\Delta p = p_1 - p_2$  an der Last 10 aufrechterhalten wird.

**[0049]** An den Eingang 11' bzw. die Sammelleitung 13' kann ein erster elastischer Zwischenspeicher 15' angeschaltet sein, beispielsweise ein Druckbehälter mit Gasfüllung und/oder mit einer elastischen Membran 15, um kurzfristige Druckschwankungen abzapfen. Alternativ oder zusätzlich kann auch an den Ausgang 11" bzw. die Sammelleitung 13" ein zweiter derartiger elastischer Zwischenspeicher 15" angeschaltet werden.

**[0050]** Die Erwärmung der Dehnungsfluide 8 in den Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 wird mit Hilfe einer steuerbaren Wärmezufuhreinrichtung 16-20 veranlasst. Die Wärmezufuhreinrichtung 16-20 umfasst im gezeigten Beispiel einen Wärmetauscher 16 für jede Zylinder-Kolbeneinheit 2-5, der das Dehnungsfluid 8 wärmeleitend kontaktiert und in dem ein Wärmeträgermedium 17 zirkuliert. Das Wärmeträgermedium 17 wird z.B. von einem Solarpanel 18 in einem Wärmeträgerkreis 19 erwärmt (Rückleitungen in Fig. 1 zwecks Übersichtlichkeit nicht gezeigt).

**[0051]** Die Wärmetauscher 16 können von jeder in der Technik bekannten Art sein; bevorzugt

sind sie mit Heat-Pipes zur Förderung des Wärmeaustausches und zur raschen und gleichmäßigen Verteilung der zugeführten Wärme in den Dehnungsfluiden 8 ausgestattet.

**[0052]** Jeder Wärmetauscher 16 ist mit einem steuerbaren Sperrventil 20 versehen. Die Sperrventile 20 werden von einer zentralen Steuereinrichtung 21 abwechselnd und intermittierend geöffnet, um jede Zylinder-Kolbeneinheit 2-5 abwechselnd zu erwärmen und abzukühlen, dadurch die Dehnungsfluide 8 in den Zylindern 6 abwechselnd zu expandieren und zu kontrahieren und damit letztlich die Kolben 7 hin und her zu bewegen. Die Kolbenbewegungen sind dabei über das im Hydraulikkreis 10-13 zirkulierende Vorspannfluid 9 synchronisiert, indem das vom Ausgang 11' über die zweiten Rückschlagventile 12" rückströmende Vorspannfluid 9 die Einfahrbewegung (Pfeil 14") mitunterstützt und zwangskoppelt.

**[0053]** Die Steuereinrichtung 21 betätigt die Sperrventile 20 in Abhängigkeit von Messwerten des Eingangsdrucks  $p_1$  und bevorzugt auch des Ausgangsdrucks  $p_2$ , die sie von entsprechenden Druckmessern 22', 22" erhält, welche an die Eingänge 11', 11" bzw. deren Sammelleitungen 13', 13" angeschlossen sind. Ein erstes, primäres Regelungsziel der Steuereinrichtung 21 ist es, den Ausgangsdruck  $p_2$  innerhalb eines ersten vorgegebenen Bereichs  $p_{2,\min}$ ,  $p_{2,\max}$  zu halten, welcher insbesondere durch den Mindest-Vorspanndruck für das Dehnungsfluid 8 bestimmt ist, z.B. (temperaturabhängig) ca. 50 - 60 bar bei flüssigem Kohlendioxid im Temperaturbereich 20 - 50°C. Insbesondere wird die untere Grenze  $p_{2,\min}$  des ersten Bereichs durch den erforderlichen Mindest-Vorspanndruck festgelegt.

**[0054]** Weitere Regelungsziele der Steuereinrichtung 21 können sein, dass gleichzeitig darauf geachtet wird, dass der Eingangsdruck  $p_1$  innerhalb eines vorgegebenen (zweiten) Bereichs  $p_{1,\min}$ ,  $p_{1,\max}$  liegt. Der erste und der zweite Bereich können ident sein oder sich teilweise überlappen oder unmittelbar aneinander anschließen oder gegenseitigen Abstand haben, in welchem letzterem Fall der Ausgangsdruck  $p_2$  in einem unteren Bereich (Druckband) und der Eingangsdruck  $p_1$  in einem oberen Bereich (Druckband) liegt. Mit der letztgenannten Ausführungsform kann auch eine Mindestdruckdifferenz bzw. ein Mindest-Druckabfall  $\Delta p = p_1 - p_2$  an der Last 10 eingestellt werden, wenn ein solcher für den ordnungsgemäßen Betrieb der Last 10 erforderlich ist, oder die Druckdifferenz für die Last 10 wahlweise variiert werden, um z.B. ihren Energieumsatz vorzugeben bzw. zu steuern.

**[0055]** Wenn der Druckabfall  $\Delta p$  an der Last 10 einstellbar ist, d.h. die Arbeit der Last 10 gesteuert werden kann, kann die Steuereinrichtung 21 in weiteren Regelungszielen auch den Druckabfall  $\Delta p$  der Last 10 steuern, siehe optionale Steuerleitung  $e_1$ . Beispielsweise können die aufgrund der aktuellen Temperaturbedingungen erzielbaren Druckbereiche von Ein- und Ausgangsdruck  $p_1$ ,  $p_2$  dazu verwendet werden, eine ausnützbare Druckdifferenz  $p_1 - p_2$  zu berechnen und diese als Vorgabe für den Druckabfall  $\Delta p$  an der Last 10 einzustellen.

**[0056]** Die genannten Regelungsziele der Steuereinrichtung 21 werden primär mit einer Steuerung der Anzahl jener Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5, welche sich zu einem bestimmten Zeitpunkt gerade in der Erwärmphase befinden, im Verhältnis zu der Anzahl jener anderen Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5, die sich zu diesem Zeitpunkt gerade in der Abkühlphase befinden, erreicht, wie nun anhand von Fig. 2 ausführlicher erläutert wird.

**[0057]** In den oberen Zeitdiagrammen der Fig. 2a - 2c sind jeweils die Schaltsignale  $e_2 - e_5$  der Steuereinrichtung 21 zum Öffnen der Sperrventile 20 und in den unteren Zeitdiagrammen die dadurch hervorgerufenen Bewegungen bzw. Wege  $s_2 - s_5$  der Kolben 7 der Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 über der Zeit  $t$  aufgetragen.

**[0058]** Fig. 2a zeigt einen ersten Betriebszustand der Wärmekraftmaschine 1 für Umgebungsbedingungen, bei denen die Abkühlphase des Dehnungsfluids 8 etwa dreimal so lang ist wie die Erwärmphase, beispielsweise weil die Temperatur des Wärmeträgermediums 17 hoch ist und eine rasche Erwärmung bewirkt. Die Sperrventile 20 werden zyklisch jeweils für etwa ein Viertel der Hubperiode geöffnet. Wie ersichtlich, befinden sich zu einem bestimmten Zeitpunkt immer eine Zylinder-Kolbeneinheit 2-5 in der Erwärmphase und drei andere in der Abkühlphase, d.h. das Verhältnis von expandierenden Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 zu kontrahierenden Zylinder-

Kolbeneinheiten 2-5 beträgt hier 1:3.

**[0059]** Fig. 2b zeigt einen zweiten Betriebszustand der Wärmekraftmaschine 1, in dem die Sperrventile 20 zyklisch für jeweils eine halbe Hubperiode geöffnet werden. Das Verhältnis von Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 in der Erwärmphase zu Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 in der Abkühlphase beträgt hier 2:2, was etwa gleichlangen Aufwärm- und Abkühlphasen, z.B. wegen verringerter Wärmezufuhr, Rechnung trägt.

**[0060]** Sinkt beispielsweise die Temperatur des Wärmeträgermediums 17 noch weiter ab und verlängert sich damit die Erwärmphase noch weiter, geht die Steuereinrichtung 20 in den dritten Betriebszustand von Fig. 2c über, in welchem das Verhältnis von Zylinderkolbeneinheiten 2 - 5 in der Erwärmphase zu Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 in der Abkühlphase 3:1 beträgt.

**[0061]** Der jeweilige Betriebszustand Fig. 2a, Fig. 2b bzw. Fig. 2c wird von der Steuerung 21 abhängig vom Ausgangsdruck  $p_2$  (und optional auch abhängig vom Eingangsdruck  $p_1$ ) eingestellt: Unterschreitet der Ausgangsdruck  $p_2$  eine vorgegebene untere Grenze  $p_{2,\min}$  seines ersten Bereichs, insbesondere den Verflüssigungsdruck des Dehnungsfluids 8 bei der aktuellen Betriebstemperatur, wird das Verhältnis von Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 in der Erwärmphase zu Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 in der Abkühlphase sukzessive erhöht, z.B. 1:3  $\rightarrow$  2:2  $\rightarrow$  3:1; überschreitet der Ausgangsdruck  $p_2$  eine vorgegebene obere Grenze  $p_{2,\max}$ , z.B. den Verflüssigungsdruck plus einer Hystereseschwelle, dann wird dieses Verhältnis sukzessive reduziert, z.B. 3:1  $\rightarrow$  2:2  $\rightarrow$  1:3. Als weiteres Regelungsziel kann berücksichtigt werden, dass der Eingangsdruck  $p_1$  innerhalb seines eigenen, zweiten Bereichs  $p_{1,\min}$ ,  $p_{2,\max}$  liegt, oder beide Bereiche werden zusammenfallend gestaltet, d.h.  $p_{1,\min} = p_{2,\min}$  und  $p_{1,\max} = p_{2,\max}$ , wobei die obere Grenze  $p_{1,\max} = p_{2,\max}$  z.B. auf den maximal zulässigen Betriebsdruck der Wärmekraftmaschine angehoben wird.

**[0062]** Bei der Verwirklichung der verschiedenen Regelungsziele der Steuereinrichtung 21 können auch entsprechende Gewichtungen und/oder Verknüpfungen zwischen den Regelungszielen vorgenommen werden.

**[0063]** Es versteht sich, dass die erörterte Regelung auf beliebige Anzahlen von Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 erweitert werden kann, beispielsweise auf 3, 5, 6, 7, 8, 12, 24 usw. Zylinder-Kolbeneinheiten. Je mehr Zylinder-Kolbeneinheiten zur Verfügung stehen, desto feiner abgestuft kann die Regelung erfolgen.

**[0064]** Zur Feinregulierung kann die Steuereinrichtung 21 zusätzlich jede einzelne Erwärm- oder Abkühlphase verkürzen oder verlängern, beispielsweise durch Versetzen des Beginns  $t_1$  einer Erwärmphase und/oder des Beginns  $t_2$  einer Abkühlphase bzw. Verändern der Dauer  $t_2 - t_1$ . Wenn sich dabei Erwärm- bzw. Abkühlphasen verschiedener Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 kurzfristig in einem größeren oder kleineren als dem mit Hilfe der vorgenannten primären Regelung gewählten Verhältnis (1:3, 2:2, 3:1) überlappen, können entsprechende kurzfristige Druckschwankungen des Ausgangsdrucks  $p_2$  bzw. Eingangsdrucks  $p_1$  mit Hilfe der Zwischenspeicher 15', 15" im Hydraulikkreis 10-13 vorübergehend absorbiert werden.

**[0065]** An dieser Stelle sei erwähnt, dass in einer stark vereinfachten Ausführungsform der Wärmekraftmaschine 1, welche nur zwei Zylinder-Kolbeneinheiten umfasst und damit nur das einzige Verhältnis 1:1 zulässt, die Steuereinrichtung 21 auch nur die letztgenannte Feinregulierung ausführen kann, mit entsprechender Einschränkung hinsichtlich der ausnutzbaren Betriebsbedingungen.

**[0066]** Fig. 3 zeigt eine konkrete Realisierung und Weiterentwicklung der Wärmekraftmaschine 1 von Fig. 1, wobei zwecks Übersichtlichkeit nur zwei Zylinder-Kolbeneinheiten 2, 3 stellvertretend gezeigt sind und die Steuereinrichtung 21 mit ihren Mess- und Steuerleitungen nicht dargestellt ist. Es versteht sich jedoch, dass die in Fig. 3 gezeigte Ausführungsform auf eine beliebige Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten erweitert werden kann.

**[0067]** Gemäß Fig. 3 fördert eine Pumpe 23 Wärmeträgermedium 17, beispielsweise Refrigerant R 123 der Firma Hoechst, aus einem Vorrat 24 über eine Leitung 25 zum Solarpanel 18, von dort über die Leitung 19 und die Sperrventile 20 zu den Wärmetauschern 16, und von dort



über Schaltventile 26 und eine Rückleitung 27 zurück zum Vorrat 24. In dem in Fig. 3 gezeigten Betriebszustand ist gerade das rechte Sperrventil 20 geöffnet und das linke Sperrventil 20 geschlossen, sodass sich die rechte Zylinder-Kolbeneinheit 3 in der Erwärm- und Expansionsphase und die linke Zylinder-Kolbeneinheit 2 in der Abkühl- und Kontraktionsphase befindet.

**[0068]** Zur Beschleunigung der Abkühlphasen umfasst hier die Wärmezufuhreinrichtung 16-20 auch eine Einrichtung zur Zwangsabkühlung der Dehnungsfluide 8. Die Zwangsabkühleinrichtung kann beispielsweise ein optionaler Einspeisepfad 28 für nicht-erwärmtes Wärmeträgermedium 17 sein, um dieses über als Mehrwegeventil ausgebildete Sperrventile 20 in den Abkühlphasen in die Wärmetauscher 16 einzuspeisen. Alternativ könnten gesonderte Wärmetauscher für ein gesondertes Kühlmedium verwendet werden (nicht gezeigt).

**[0069]** Bevorzugt umfasst die Zwangsabkühleinrichtung wie gezeigt eine steuerbare Druckentspannungseinrichtung, welche nach dem Schließen des Sperrventils 20 das in einem Wärmetauscher 16 noch unter dem Förderdruck der Pumpe 23 stehende Wärmeträgermedium 17 über das Schaltventil 26 zu einem Unterdruck-Zwischenspeicher 29 hin entspannt. Der Unterdruck im Unterdruck-Zwischenspeicher 29 wird über eine Saugleitung 30 von einem Venturi-Ejektor 31 errichtet, der über eine Leitung 32 kontinuierlich von der Pumpe 23 mit Wärmeträgermedium 17 im Kreis beschickt wird. Durch die schlagartige Expansion des Wärmeträgermediums 17 nach dem Öffnen des Schaltventils 26 verdampft das Wärmeträgermedium 17 und kühlt dadurch das Dehnungsfluid 8 über den Wärmetauscher 16.

**[0070]** Die Fig. 4a und 4b zeigen jeweils eine weitere Ausführungsform einer Zwangsabkühleinrichtung für die Dehnungsfluide 8, welche alternativ oder zusätzlich zu der vorgenannten Zwangsabkühleinrichtung eingesetzt werden kann. Die Zwangsabkühleinrichtung der Fig. 4a und 4b ist jeweils direkt in eine der Zylinder-Kolbeneinheiten 2-5 integriert, und Fig. 4a bzw. 4b zeigt jeweils beispielhaft eine derartig ausgestattete Zylinder-Kolbeneinheit 2.

**[0071]** Bei der Ausführungsform von Fig. 4a ist die Zylinder-Kolbeneinheit 2 mit einer Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 zusammengebaut, welche einen Zylinder 41 und einen Kolben 42 hat. Der Kolben 42 der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 41 wird mechanisch z.B. über eine Kolbenstange 43 von der Kolbenbewegung der Zylinder-Kolbeneinheit 2 mitangetrieben. Die Zylinder 6 und 41 können dazu beispielsweise direkt axial aneinander anschließend zusammengebaut sein.

**[0072]** In das Dehnungsfluid 8 der Zylinder-Kolbeneinheit 2 ragt in wärmeleitender Verbindung ein Behälter 44, der ein Verdampfungsmittel 45 enthält, welches in der gezeigten Betriebsstellung beispielsweise bis zu einem Niveau 45' flüssig und darüber gasförmig ist.

**[0073]** Das Innere des Behälters 44 steht über eine - hier im Inneren der Kolbenstange 43 ausgebildete - Strömungsverbindung 46 mit einem Zylinderraum 47 der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 in Strömungsverbindung. Der gegenüberliegende Zylinderraum 48 der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 ist in der in Fig. 4 gezeigten Betriebsstellung zunächst leer, d.h. bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens 42 bildet sich im Raum 48 zunehmender Unterdruck bzw. - soweit es die Kolbendichtungen zulassen - Vakuum aus.

**[0074]** Die beiden Räume 47 und 48 zu beiden Seiten des Kolbens 42 der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 stehen über ein oder mehrere Rückschlagventile 49 miteinander in Strömungsverbindung. Die Rückschlagventile 49 sind so orientiert, dass sie bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens 42, wenn der Unterdruck im Raum 48 zunimmt und das Verdampfungsmittel 45 im Raum 47, in der Strömungsverbindung 46 und im Behälter 44 zunehmend komprimiert wird, geschlossen sind. Bei der Ausdehnung des Dehnungsfluids 8 wird somit das Verdampfungsmittel 45 komprimiert und unter Ansteigen des Niveaus 45' zunehmend verflüssigt, während sich gleichzeitig Unterdruck im Raum 48 einstellt.

**[0075]** Die Rückschlagventile 49 sind nun durch die Bewegung des Kolbens 42 gesteuert, u.zw. öffnen sie zwangsweise in ihrer Sperrichtung, wenn der Kolben 42 seine obere Einstellung erreicht. Beispielsweise werden sie von entsprechenden Stiften oder Hebeln aufgestoßen, mit denen sie an der inneren Stirnseite des Zylinders 41 anschlagen. Dadurch werden sie geöffnet

und das komprimierte, unter Druck stehende Verdampfungsmittel 45 entspannt sich schlagartig in das Vakuum des Raums 48, siehe Pfeile 50, wodurch sich das Verdampfungsmittel 45 schlagartig abkühlt. Über die wärmeleitende Verbindung des Behälters 44 zum Dehnungsfluid 8 wird damit auch dieses schlagartig abgekühlt und somit die Abkühlung des Dehnungsfluids 8 und die Einfahrbewegung des Kolbens 7 unterstützt und beschleunigt.

**[0076]** Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens 42 öffnen sich die Rückschlagventile 49 in ihrer Durchlassrichtung, so dass das Verdampfungsmittel 45 wieder aus dem Raum 48 in den Raum 47, in die Strömungsverbindung 46 und in den Behälter 44 verdrängt wird. Wenn der Kolben 42 nach Erreichen seiner unteren Stellung wieder mit seiner Aufwärtsbewegung beginnt, schließen die Rückschlagventile 49 wieder und der Prozess beginnt von neuem. Das Komprimieren, schlagartige Entspannen (Verdampfen) und Wiederkomprimieren des Verdampfungsmittels 45 ist ein autarker, geschlossener Kreisprozess, welcher den Temperaturkreislauf des Dehnungsfluids 8 positiv unterstützt.

**[0077]** Die Ausführungsform von Fig. 4b unterscheidet sich von jener von Fig. 4a dadurch, daß die Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 nur einen einzigen wirksamen Zylinderraum 48 hat, wogegen der Zylinderraum 47 offen oder unbenutzt ist oder z.B. zusätzlich mit einem Kühlmittel (nicht gezeigt) beaufschlagt werden kann. Der Behälter 44 steht hier über die Strömungsverbindung 46 und eine Umlenkung 46' derselben im Kolben 42 direkt mit dem Zylinderraum 48 in Strömungsverbindung, wobei das Rückschlagventil 49 in der Strömungsverbindung 46 z.B. deren Umlenkung 46' wirkt, und zwar in derselben Weise wie in Fig. 4a: Bei der Abwärtsbewegung der Kolben 7, 42 strömt das vom letzten Zyklus im Raum 48 verbliebene Verdampfungsmittel 45 über das Rückschlagventil 49 in dessen Durchlaßrichtung zurück in den Behälter 44 und wird durch die Abwärtsbewegung des Kolbens 42 komprimiert; bei der Aufwärtsbewegung der Kolben 7, 42 schließt das Rückschlagventil 49 und es stellt sich wieder im Raum 48 zunehmender Unterdruck bzw. Vakuum ein, bis der Kolben 42 seine obere Stellung erreicht und das Ventil 49 z.B. durch einen Endanschlag (nicht gezeigt) aufgestoßen (freigesteuert) wird: Das im Raum 44 komprimierte Verdampfungsmittel 45 entspannt sich wieder schlagartig über das freigesteuerte Rückschlagventil 49 und die Umlenkung 46' in den Raum 48 (Pfeile 50), kühlt sich dabei ab und kondensiert bis z.B. zum Niveau 45', wodurch das Dehnungsfluid 8 zwangsabgekühlt wird, um die nun beginnende Einfahrbewegung des Kolbens 7 zu unterstützen. Der Unterschied zu der Ausführungsform von Fig. 4a besteht somit darin, dass bei der Ausführungsform von Fig. 4b das Verdampfungsfluid 45 bei der Abwärtsbewegung der Kolben 7, 42 komprimiert wird, hingegen bei der Ausführungsform von Fig. 4a bei der Aufwärtsbewegung der Kolben 7, 42.

**[0078]** In einer (nicht dargestellten) alternativen Ausführungsform könnten die Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit 40 bzw. die für diesen Kreisprozess erforderlichen Komponenten auch gesondert von der Zylinder-Kolbeneinheit 2 aufgebaut und über entsprechende Strömungsverbindungen und mechanische Kupplungen mit dieser gekoppelt werden.

**[0079]** Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst alle Varianten und Modifikationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen. So könnte beispielsweise eine größere Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten auch in mehreren Gruppen gruppenweise gleichlaufend angesteuert werden, um den Schaltungs- und Regelungsaufwand zu verringern; in diesem Fall könnten sich die Zylinder 6 einer Gleichlaufgruppe von Zylinder-Kolbeneinheiten auch einen gemeinsamen Wärmetauscher 16 und/oder ein gemeinsames Dehnungsfluid 8 teilen.

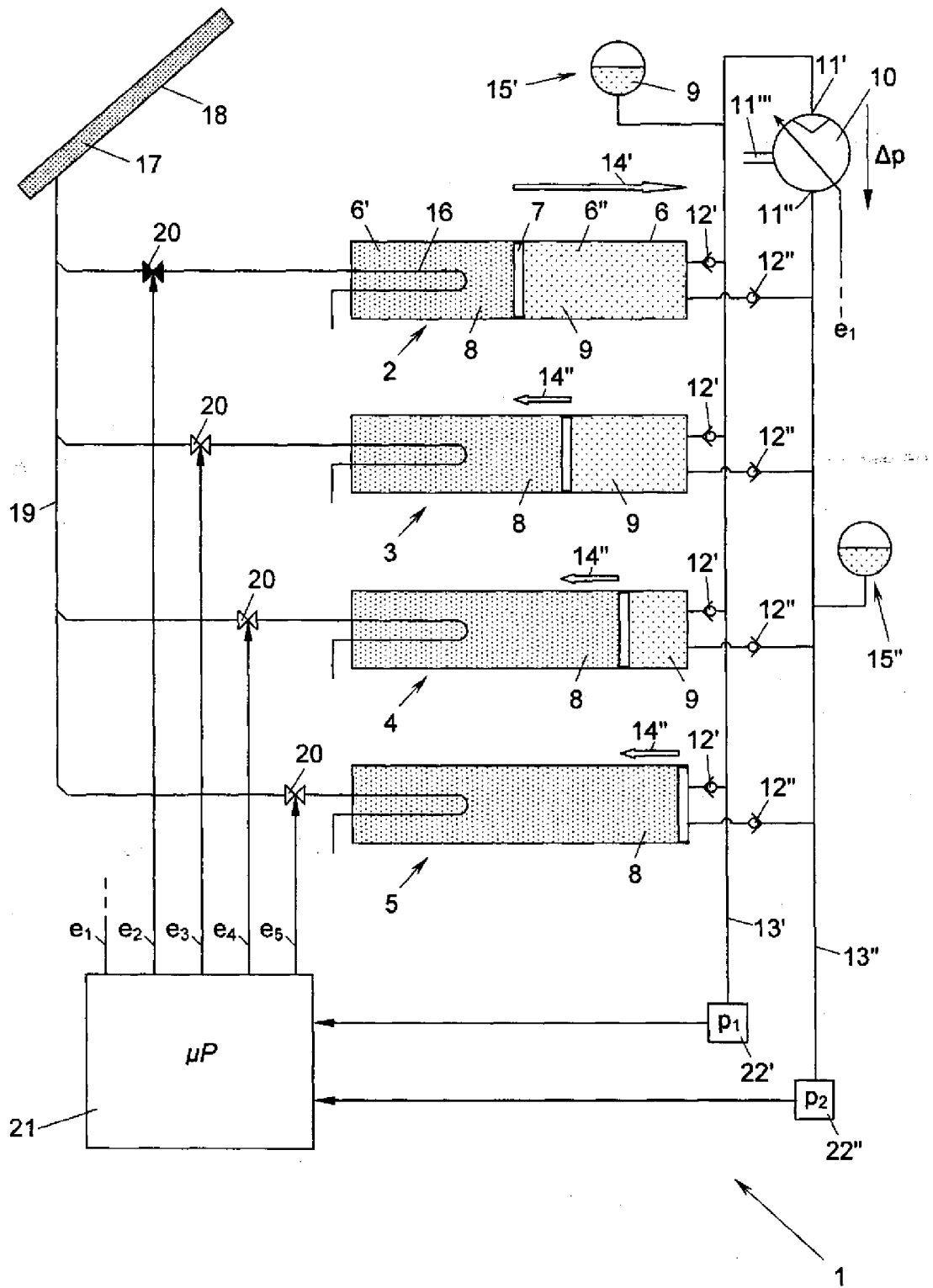
## Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine, insbesondere für den Niedertemperaturbetrieb zur Verwertung von Solarwärme, Abwärme aus biologischen oder industriellen Prozessen od.dgl., mit:  
zumindest zwei Zylinder-Kolbeneinheiten, die jeweils ein unter einem Vorspanndruck stehendes Dehnungsfluid enthalten, welches bei einer Temperaturänderung sein Volumen ändert und so den Kolben bewegt,  
einer Einrichtung zur individuell steuerbaren Wärmezufuhr zum Dehnungsfluid jeder Zylinder-Kolbeneinheit, und  
einer die Wärmezufuhreinrichtung steuernden Steuereinrichtung, um jedes Dehnungsfluid abwechselnd zu erwärmen und abzukühlen und dadurch die Kolben zu bewegen,  
wobei die Kolben der Zylinder-Kolbeneinheiten von einem gemeinsamen Vorspannfluid beaufschlagt sind, welches darin einen Vorspanndruck auf das jeweilige Dehnungsfluid ausübt, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Vorspannfluid (9) von den Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5) über erste Rückschlagventile (12') in an sich bekannter Weise zu einem Eingang (11') und über entgegengesetzt gerichtete zweite Rückschlagventile (12'') zu einem Ausgang (11'') einer hydraulischen Last (10) geführt ist, in der es einem Druckabfall ( $\Delta p$ ) zwischen Ein- und Ausgang (11', 11'') unterliegt,  
die Steuereinrichtung (21) mit einem ersten Druckmesser (22'') für den Druck ( $p_2$ ) des Vorspannfluids (9) am Ausgang (11'') der Last (10) ausgestattet ist, und  
die Steuereinrichtung (21) die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhreinrichtung (16-20) zumindest in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsdruck ( $p_2$ ) steuert, um diesen innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs ( $p_{2,\min}$ ,  $p_{2,\max}$ ) zu halten,  
wobei das Dehnungsfluid (8) flüssiges Kohlendioxid enthält und die untere Bereichsgrenze ( $p_{2,\min}$ ) des genannten vorgegebenen ersten Bereichs größer oder gleich dem Verflüssigungsdruck von Kohlendioxid bei der Arbeitstemperatur ist.
2. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1 mit zumindest drei Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (21) die Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5), die sich zu einem Zeitpunkt in der Erwärmphase befinden, gegenüber der Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten, welche sich zum selben Zeitpunkt in der Abkühlphase befinden, erhöht, wenn der Ausgangsdruck ( $p_2$ ) den vorgegebenen ersten Bereich ( $p_{2,\min}$ ,  $p_{2,\max}$ ) unterschreitet, und verringert, wenn der Ausgangsdruck  $p_2$  den vorgegebenen ersten Bereich ( $p_{2,\min}$ ,  $p_{2,\max}$ ) überschreitet.
3. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (21) die Erwärm- und/oder Abkühlphasen individuell verkürzt oder verlängert, um den Ausgangsdruck ( $p_2$ ) innerhalb des vorgegebenen ersten Bereichs ( $p_{2,\min}$ ,  $p_{2,\max}$ ) zu halten.
4. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (21) mit einem zweiten Druckmesser (22') für den Druck ( $p_1$ ) des Vorspannfluids (9) am Eingang (11') der Last (10) ausgestattet ist und die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhreinrichtung (16-20) auch in Abhängigkeit von dem gemessenen Eingangsdruck ( $p_1$ ) steuert, um diesen innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs ( $p_{1,\min}$ ,  $p_{1,\max}$ ) zu halten.
5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 4 mit zumindest drei Zylinder-Kolbeneinheiten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (21) die Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5), die sich zu einem Zeitpunkt in der Erwärmphase befinden, gegenüber der Anzahl von Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5), welche sich zum selben Zeitpunkt in der Abkühlphase befinden, auch erhöht, wenn der Eingangsdruck ( $p_1$ ) den vorgegebenen zweiten Bereich ( $p_{1,\min}$ ,  $p_{1,\max}$ ) unterschreitet, und auch verringert, wenn der Eingangsdruck den vorgegebenen zweiten Bereich ( $p_{1,\min}$ ,  $p_{1,\max}$ ) überschreitet.

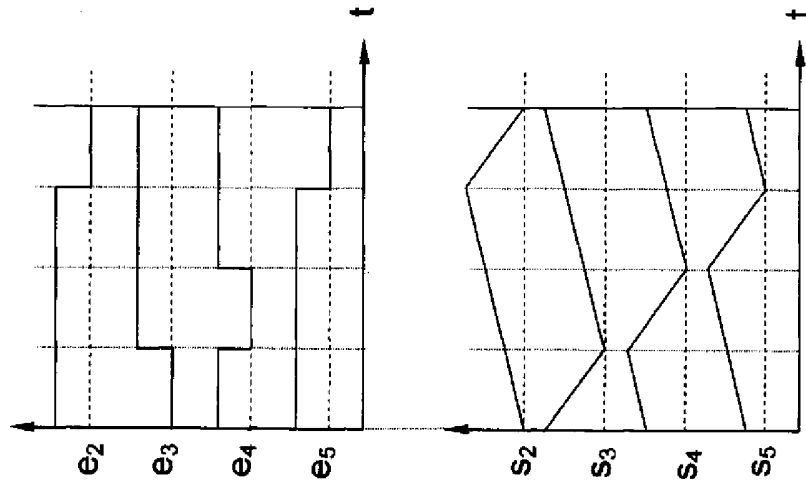
6. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (21) die Erwärm- und/oder Abkühlphasen auch individuell verkürzt oder verlängert, um den Eingangsdruck ( $p_1$ ) innerhalb des vorgegebenen zweiten Bereichs ( $p_{1,min}$ ,  $p_{1,max}$ ) zu halten.
7. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste und der zweite Bereich ( $p_{2,min}$ ,  $p_{2,max}$ ;  $p_{1,min}$ ,  $p_{1,max}$ ) gleich sind.
8. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die Untergrenze ( $p_{1,min}$ ) des zweiten Bereichs von der Obergrenze ( $p_{2,max}$ ) des ersten Bereichs um etwa den Druckabfall ( $\Delta p$ ) an der Last (10) unterscheidet.
9. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den Eingang (11') der hydraulischen Last (10) ein erster elastischer Zwischenspeicher (15') für das Vorspannfluid (9) angeschaltet ist.
10. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den Ausgang (11'') der hydraulischen Last (10) ein zweiter elastischer Zwischenspeicher (15'') für das Vorspannfluid (9) angeschaltet ist.
11. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kolben (7) doppelwirkende Kolben sind, auf deren eine Seite das Dehnungsfluid (8) und auf deren andere Seite das Vorspannfluid (9) einwirkt.
12. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmezufuhreinrichtung (16-20) für jede Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) einen von einem Wärmeträgermedium (17) durchströmten Wärmetauscher (16) aufweist, der mit einem von der Steuereinrichtung (21) gesteuerten Sperrventil (20) versehen ist.
13. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscher (16) zur Zwangsabkühlung des Wärmeträgermediums (17) jeweils mit einer von der Steuereinrichtung (21) gesteuerten Druckentspannungseinrichtung (26, 29-32) versehen sind.
14. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckentspannungseinrichtung (26, 29-32) einen Unterdruck-Zwischenspeicher (29) umfasst, der über ein steuerbares Schaltventil (26) an den Wärmetauscher (16) anschaltbar ist.
15. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zylinder-Kolbeneinheiten (2-5) mit einer Einrichtung (40-49) zur Zwangsabkühlung der Dehnungsfluide (8) in den Abkühlphasen ausgestattet sind, welche von der Bewegung ihrer Kolben (7) gesteuert ist.
16. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die genannte Zwangsabkühlleinrichtung (40-49) für jede Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) umfasst:  
eine von der Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) angetriebene Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit (40) mit zumindest einem Zylinderraum (48),  
einen mit dem Dehnungsfluid (8) in Wärmeleitungsverbindung stehenden Behälter (44) mit einem Verdampfungsmittel (45),  
wobei der Behälter (44) über zumindest ein durch die Kolbenbewegung der Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) freistuerbares Rückschlagventil (49) mit dem genannten einen Zylinderraum (48) verbunden ist.
17. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Behälter (44) über den anderen Zylinderraum (47) und diesem nachgeordnet das Rückschlagventil (49) mit dem genannten einen Zylinderraum (48) der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit (40) in Strömungsverbindung steht.
18. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Rückschlagventil (49) direkt im Kolben (42) der Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit (40) angeordnet und durch das Anschlagen des Kolbens (42) in seiner einen Endstellung gesteuert ist.

19. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) mit ihrer Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit (40) axial zusammengebaut ist, wobei ihre Kolben (7, 42) über eine Kolbenstange (43) miteinander verbunden sind, und wobei bevorzugt der Behälter (44) vom Kolben (7) der Zylinder-Kolbeneinheit (2-5) getragen ist.

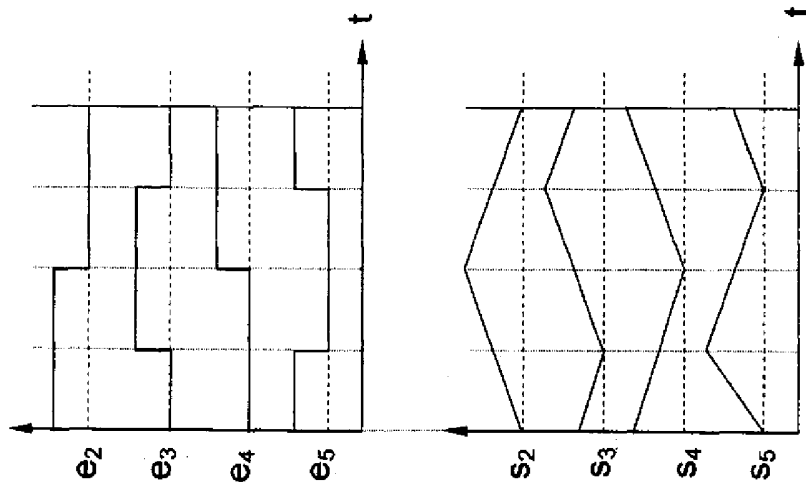
**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**



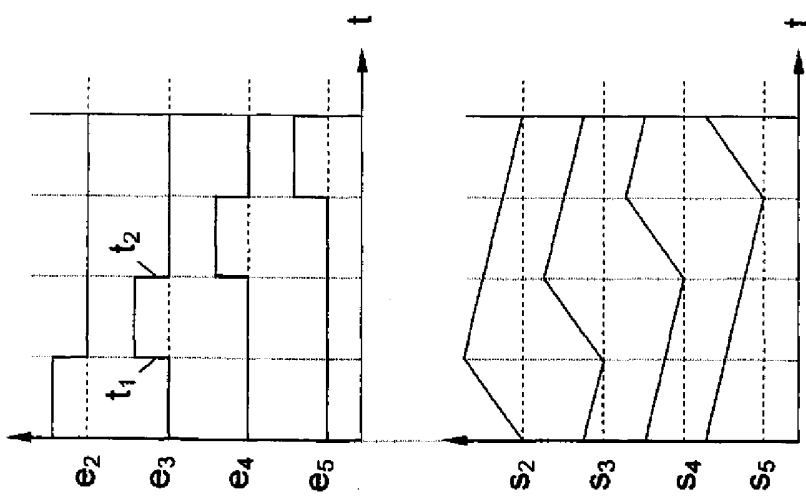
**Fig. 1**



*Fig. 2c*



*Fig. 2b*



*Fig. 2a*

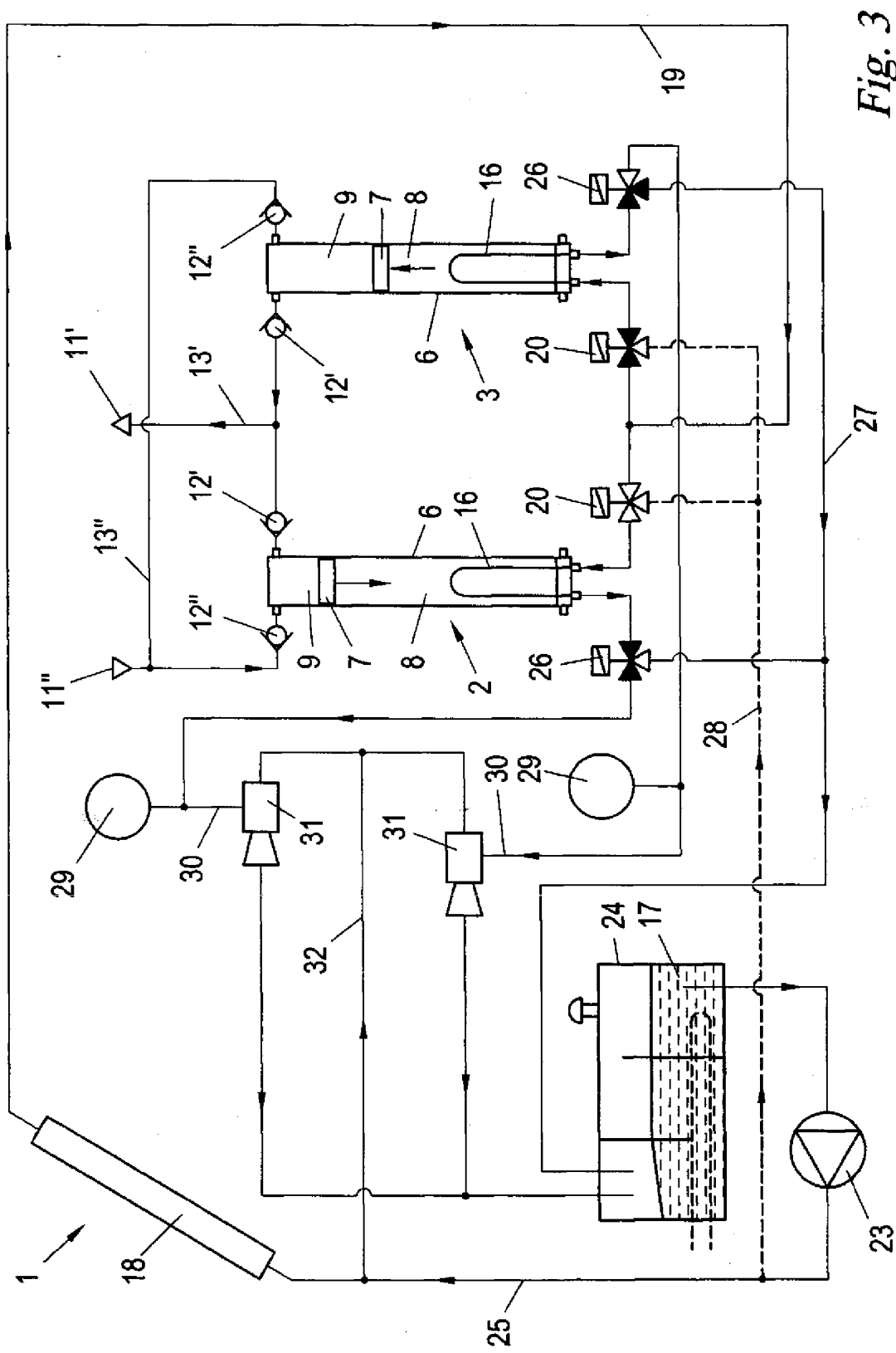
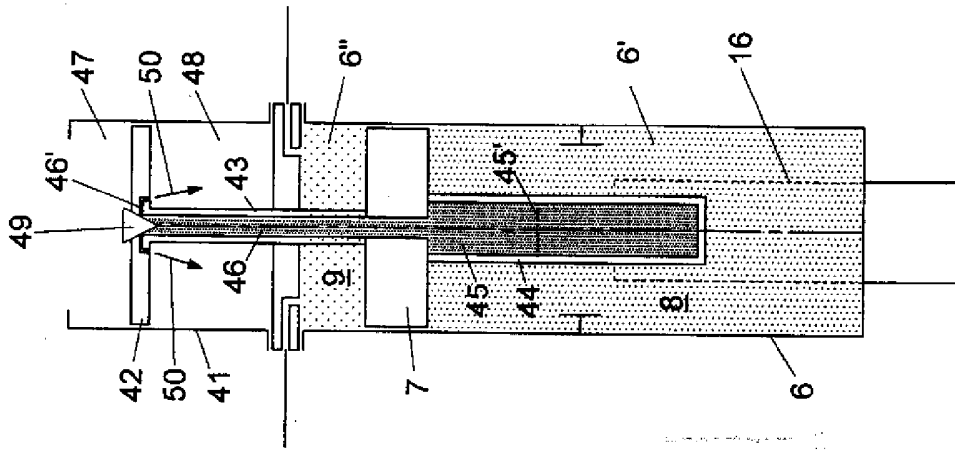
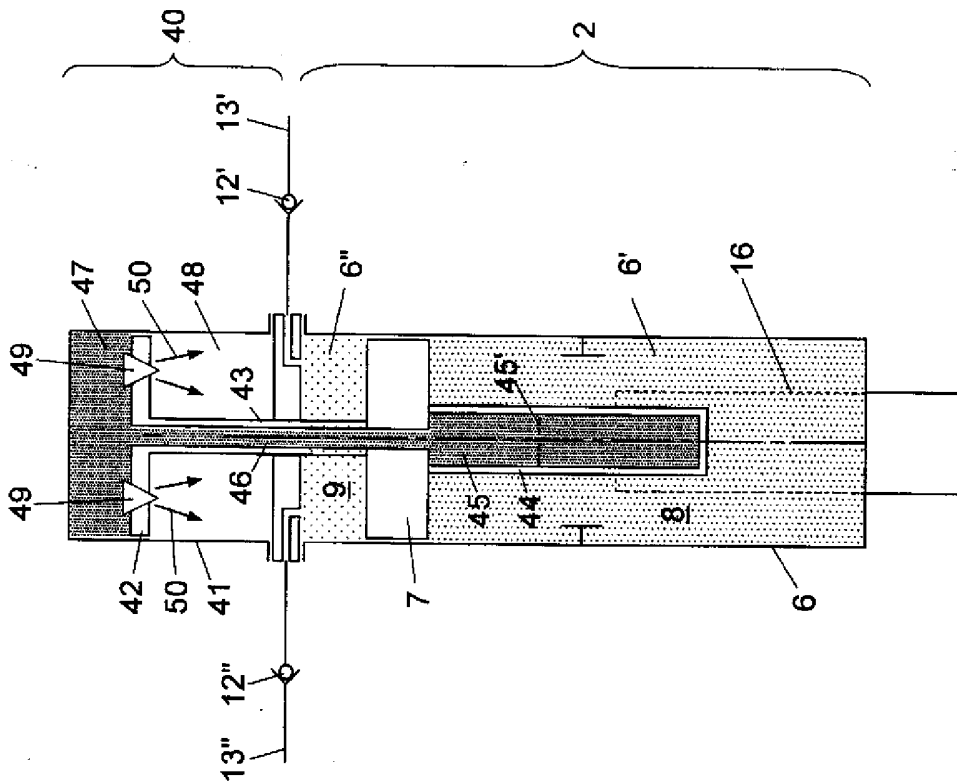


Fig. 3





*Fig. 4b*



*Fig. 4a*