

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

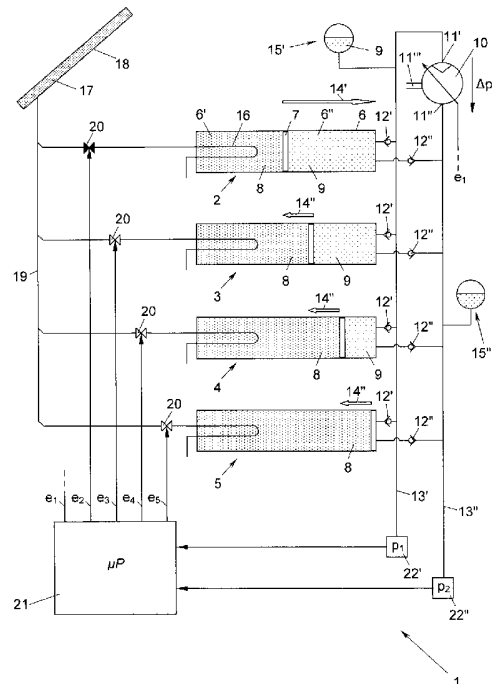
(21) Anmeldenummer: A 117/2011
 (22) Anmeldetag: 28.01.2011
 (43) Veröffentlicht am: 15.04.2012

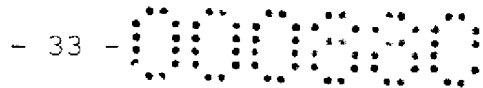
(51) Int. Cl. : **F01K 25/02** (2006.01)
F01K 27/00 (2006.01)

(73) Patentanmelder:
 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, Mitteln (16 - 20) zur individuell steuerbaren Wärmezufuhr zum Dehnungsfluid (8) jeder Zylinder-Kolbeneinheit (2 - 5), und einer die Wärmezufuhrmittel (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 Wärmezufuhrmittel (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.





Zusammenfassung:

Wärme­kraft­ma­schine (1) mit zu­min­dest zwei Zylinder-Kolben­ein­hei­ten (2 - 5), die je­weils ein un­ter ei­nem Vor­spann­druck ste­hen­des Dehnungs­fluid (8) ent­hal­ten, Mit­tel­n (16 - 20) zur in­di­vi­du­ell steu­er­ba­ren Wär­me­zu­fuhr zum Dehnungs­fluid (8) je­der Zylinder-Kolben­ein­heit (2 - 5), und ei­ner die Wär­me­zu­fuhr­mit­tel (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 Wär­me­zu­fuhr­mit­tel (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)

Dipl.-Ing. Walter Loidl
A-1150 Wien (AT)

Die vorliegende Erfindung betrifft eine 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,

Mitteln zur individuell steuerbaren Wärmezufuhr zum Dehnungsfluid jeder Zylinder-Kolbeneinheit, und

einer die Wärmezufuhrmittel steuernden Steuereinrichtung, um jedes Dehnungsfluid abwechselnd erwärmen und abkühlen zu lassen 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,

Eine derartige Wärmekraftmaschine ist aus der WO 2009/082773 bekannt. Wirksame Dehnungsfluide erfordern häufig einen bestimmten Vorspanndruck, um im gewünschten Betriebstemperaturbereich einen signifikanten Dehnungskoeffizienten zeigen. Ein Beispiel dafür ist flüssiges Kohlendioxid, welches unter einem Druck von ca. 60 - 70 bar bei einer Erwär-

mung von 20°C auf 30°C sein Volumen um das etwa 2,2-fache ändert.

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.

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.

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,

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

die Steuereinrichtung die Erwärm- und Abkühlphasen der Wärmezufuhrmittel zumindest in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsdruck steuert, um diesen innerhalb eines vorgegebenen ersten Bereichs zu halten.

Auf diese Weise wird das Vorspannfluid 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 wird dazu zweckmäßigerweise so gewählt, dass seine untere Bereichsgrenze über dem Mindest-Vorspanndruck des Dehnungsfluids liegt.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Wärmekraftmaschine der Erfindung weist zumindest drei Zylinder-Kolbeneinheiten auf und zeichnet sich dadurch aus, dass die Steu-

ereinrichtung 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.

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.

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 Wärmezufuhrmittel auch in Abhängigkeit von dem gemessenen Eingangsdruck, um diesen innerhalb eines vorgegebenen zweiten Bereichs zu halten. Damit kann z.B. die Druckdifferenz für die hydrau-

liche 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.

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.

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.

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.

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.

Als Dehnungsfluid kann grundsätzlich jedes in der Technik bekannte Fluid mit entsprechend signifikantem Wärmedehnungskoeffizienten verwendet werden. Besonders günstig ist es, wenn das Dehnungsfluid - wie an sich aus der WO 2009/082773 bekannt - flüssiges Kohlendioxid enthält und der Ausgangsdruck größer oder gleich dem Verflüssigungsdruck von Kohlendioxid bei der Arbeitstemperatur ist. 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 CO₂-Sequestrierung im Sinne eines „Carbon Dioxide Capture and Storage“-Prozesses (CSS).

Auch das Vorspannfluid kann an sich beliebiger Art sein, beispielsweise Druckluft. Besonders bevorzugt ist das Vor-

spannfluid 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.

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.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Wärmezufuhrmittel für jede Zylinder-Kolbeneinheit einen von einem Wärmeträgermedium durchströmten Wärmetauscher aufweisen, 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.

Die Abkühlphasen können beschleunigt werden, wenn die Wärmezufuhrmittel bevorzugt auch Mittel 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 Zwangsabkühlmittel eine steuerbare Druckentspannungseinrichtung für jeden Wärmetauscher aufweist. Dadurch kann das Wärmeträgermedium gleichzeitig als Kühlmittel verwendet werden, indem es durch Druckentspannung zur Abkühlung veranlasst wird.

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.

Alternativ oder zusätzlich können die Zylinder-Kolbeneinheiten mit eigenen Mitteln zur Zwangsabkühlung der Dehnungsfluide in den Abkühlphasen ausgestattet sein, welche direkt von der Bewegung ihrer Kolben gesteuert sind. Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform umfassen solche Zwangsabkühlmittel für die Zylinder-Kolbeneinheiten:

eine von der Zylinder-Kolbeneinheit angetriebene Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheit mit zumindest einem Zylinderraum,

einen mit dem Dehnungsfluid in Wärmeleitungsverbindung stehenden Behälter mit einem Verdampfungsmittel,

wobei der Behälter über zumindest ein durch die Kolbenbewegung der Zylinder-Kolbeneinheit freisteuerbares Rückschlagventil mit dem genannten einen Zylinderraum verbunden ist.

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 Steuerung 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.

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.

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.

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.

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 Zwangsabkühlmittel unter Verwendung einer minimalen Anzahl beweglicher Teile in den Zylinder-Kolbeneinheiten erreicht.

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

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer Wärmekraftmaschine der Erfindung mit vier Zylinder-Kolbeneinheiten;

die Fig. 2a bis 2c Zeitdiagramme der Steuerung der Wärmezufuhrmittel und der sich dadurch ergebenden Kolbenbewegungen der Maschine von Fig. 1;

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

die Fig. 4a und 4b Prinzipschaltbilder zweier verschiedener Ausführungsformen von Zylinder-Kolbeneinheiten mit integrierten Hilfs-Zylinder-Kolbeneinheiten als Zwangsabkühlmittel.

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.

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 Röhreinrichtung (nicht gezeigt) für das Dehnungsfluid 8 angeordnet werden, um die Wärmeleitung darin zu verbessern.

Im gezeigten Beispiel ist das Dehnungsfluid 8 flüssiges Kohlendioxid (CO_2), das bei Raumtemperatur einen Verflüssigungsdruck von ca. 65 bar hat. Flüssiges CO_2 zeigt im Bereich von 20°C bis 30°C eine Wärmedehnung um das etwa 2,2-fache. Anstelle von reinem flüssigem Kohlendioxid könnten auch Mischun-

gen von flüssigem Kohlendioxid mit anderen Stoffen als Dehnungsfluid 8 verwendet werden.

Um das CO₂ 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.

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 Δp auf. Anstelle eines Hydraulikmotors könnte auch jede andere Art von hydraulischer Last 10 eingesetzt werden, welche mit einem Druckgefälle Δp antreibbar ist, wie in der Technik bekannt.

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