

(19)



(11)

**EP 2 853 684 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**01.04.2015 Patentblatt 2015/14**

(51) Int Cl.:  
**F01B 17/04** (2006.01)      **F01K 3/18** (2006.01)  
**F01L 21/00** (2006.01)      **F01B 7/16** (2006.01)  
**F01K 3/02** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14186740.8**

(22) Anmeldetag: **29.09.2014**

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

(71) Anmelder: **Knopf, Richard Matthias  
3003 Gablitz (AT)**

(72) Erfinder: **Knopf, Richard Matthias  
3003 Gablitz (AT)**

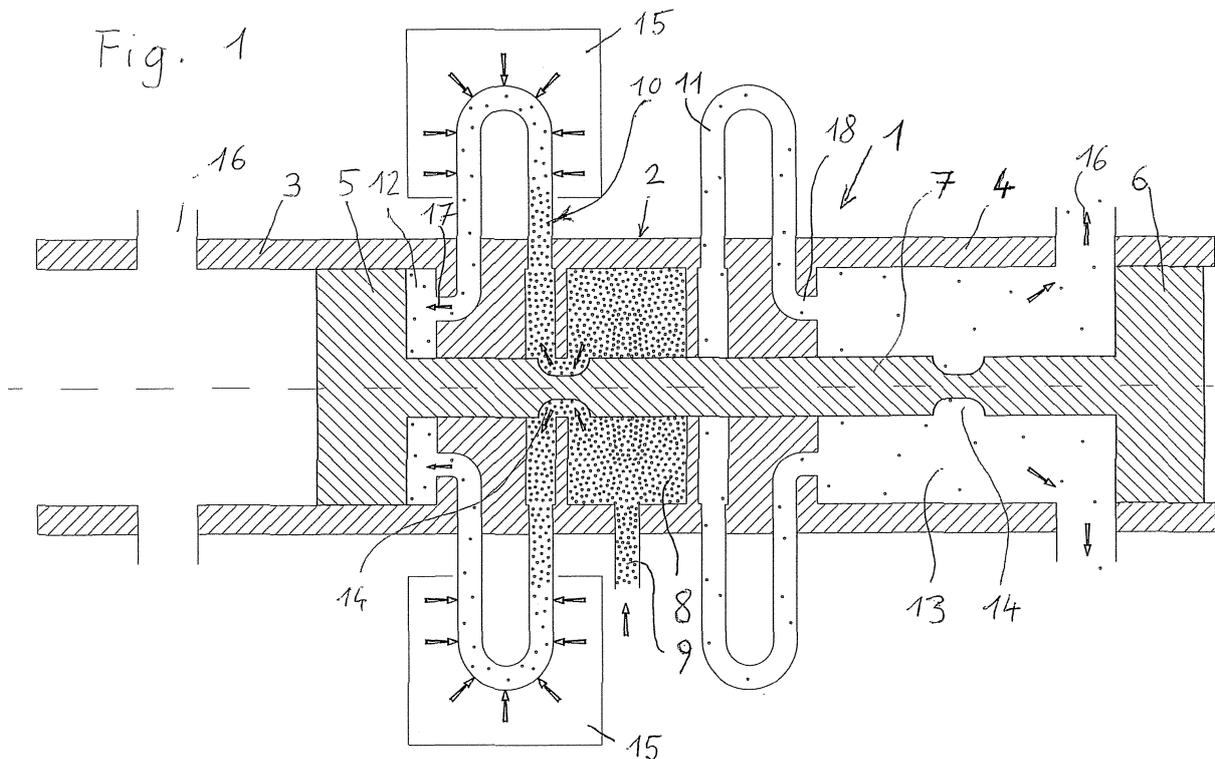
(30) Priorität: **27.09.2013 AT 506242013  
27.09.2013 AT 506252013**

(74) Vertreter: **Babeluk, Michael  
 Patentanwalt  
 Florianigasse 26/3  
 1080 Wien (AT)**

(54) **Verfahren zur Gewinnung mechanischer Arbeit**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung mechanischer Arbeit aus der Entspannung eines Fluids in einer Expansionsmaschine mit einem Zylinder (3, 4) wobei im Zylinder (3, 4) ein Kolben (5, 6) beweglich angeordnet ist, und wobei das Fluid gesteuert durch ein Steuermittel (14; 14a, 14b) über mindestens eine Einlass-

öffnung (17, 18) in den Zylinder (3, 4) eingebracht wird. Erfindungsgemäß wird ein hoher Wirkungsgrad dadurch erreicht, das Fluid stromabwärts der Steuermittel (14; 14a, 14b) jeweils über eine Resonanzleitung (10, 11) zu der Einlassöffnung (17, 18) geführt wird.



**EP 2 853 684 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung mechanischer Arbeit aus der Entspannung eines Fluids in einer Expansionsmaschine gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

**[0002]** Die Gewinnung mechanischer Arbeit durch Expansion von Fluiden, beispielsweise aber nicht ausschließlich Wasserdampf, erfolgt bei größeren Leistungen nahezu ausschließlich unter Verwendung von Turbomaschinen, da diese hohe Wirkungsgrade bei kompaktem und kostengünstigen Aufbau aufweisen. Im Bereich kleinerer Leistungen etwa im Kilowatt-Bereich sind Kolbenmaschinen jedoch nach wie vor konkurrenzfähig, da mit Turbomaschinen hier nur relativ geringe Wirkungsgrade erzielbar sind.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung betrifft solche Kolbenmaschinen und Verfahren zum Betreiben dieser Kolbenmaschinen zur Expansion von Fluiden allgemein und von Wasserdampf im Besonderen.

**[0004]** Die vorliegende Erfindung ist für alle Arten von Kolbenmaschinen, also auch für Rotationskolbenmaschinen geeignet. Insbesondere ist vorgesehen, dass der Kolben im Zylinder geradlinig hin und her bewegt wird.

**[0005]** Vorzugsweise sind ein erster und einem zweiter Zylinder mit gemeinsamer Achse vorgesehen und im ersten und im zweiten Zylinder sind ein erster bzw. ein zweiter Kolben beweglich angeordnet.

**[0006]** Insbesondere sind die beiden Kolben durch eine gemeinsame Kolbenstange miteinander verbunden.

**[0007]** Ein solches Verfahren wird beispielsweise durch sogenannte Gleichstromdampfmaschinen verwirklicht. Diese Bauart von Dampfmaschinen besitzt den Vorteil, dass Einströmung und Ausströmung von Dampf jeweils an einander gegenüberliegenden Enden des Zylinders erfolgt, d.h., dass der Dampf den Zylinder nur in einer Richtung durchströmt und sich daher in Längsrichtung ein Temperaturgefälle im Zylinder einstellen kann. Dies verringert die Gefahr von Kondensationseffekten im Zylinder und wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad aus. Solche Dampfmaschinen haben in der Bauform Stumpf in verschiedenen Anwendungsgebieten beachtliche Erfolge erzielt.

**[0008]** Besondere Vorteile haben Maschinen mit koaxial angeordneten Zylindern, die mit dem Gleichstromverfahren arbeiten. Eine solche Maschine ist in der GB 16 274 A beschrieben. Dabei wird der Dampf über Ventile im Bereich eines gemeinsamen Zylinderkopfs in die Zylinderinnenräume geführt und über Steuerschlitze an den gegenüberliegenden Enden abgeführt. Nachteilig bei dieser Lösung sind einerseits ein aufwendiger Aufbau und andererseits ein relativ harter Lauf einer solchen Maschine. Ähnliches gilt für die Lösung, die in der DE 32 15 487 A beschrieben ist.

**[0009]** Die US 1,798,816 A zeigt eine Arbeitsmaschine, die einen einzelnen Zylinder mit einem darin hin und her beweglichen Kolben aufweist, der beidseitig beauf-

schlägt ist. Das Fluid wird über einen Steuerschieber und Einlassleitungen zu den seitlichen Zylinderköpfen geführt und dort in den Zylinder eingeführt. Auch bei einer solchen Maschine ist ein harter Lauf zu beobachten.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, das oben beschriebene Verfahren so weiterzubilden, dass diese Nachteile überwunden werden und ein hoher Wirkungsgrad und ein ruhiger Lauf erzielt werden. Eine weitere Aufgabe ist es eine konstruktiv einfache Expansionsmaschine anzugeben, mit der ein solches Verfahren ausgeführt werden kann.

**[0011]** Erfindungsgemäß werden diese Aufgaben durch die Merkmale von Patentanspruch 1 gelöst. Insbesondere ist dabei vorgesehen, dass das Fluid stromabwärts der Steuermittel jeweils über eine Resonanzleitung zu den Einlassöffnungen geführt wird. Die Resonanzleitung hat dabei die Aufgabe, eine gewisse Verzögerung bei der Einströmung des Fluids in die Zylinder zu verursachen, was insbesondere einem weichen Lauf zugute kommt.

**[0012]** Ein besonders hoher Wirkungsgrad kann dadurch erreicht werden, dass das Fluid stromabwärts eines Steuerschiebers nacherwärmt wird. Naturgemäß sinkt die Temperatur des Zylinderinhalts während der Expansion ab, was durch den damit verbundenen Druckabfall den Wirkungsgrad entsprechend verringert. Dieser Nachteil kann durch die Nacherwärmung gemildert werden, insbesondere dann, wenn die Nacherwärmung über einen nicht unwesentlichen Teil der Expansion wirksam ist.

**[0013]** Gemäß einer ersten Ausführungsvariante des Verfahrens ist vorgesehen, dass der Einlass des Fluids in die Zylinder durch Einlassventile gesteuert wird. Alternativ kann der Einlass des Fluids in die Zylinder auch durch die gemeinsame Kolbenstange gesteuert werden. Dadurch kann eine wesentliche Vereinfachung gegenüber bekannten Lösungen erreicht werden. Es hat sich auch bei Versuchen herausgestellt, dass ein besonders ruhiger Lauf und ein hoher Wirkungsgrad durch diese Maßnahmen erzielbar sind.

**[0014]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn Auslassöffnungen in einem Bereich entfernt vom gemeinsamen Zylinderkopf durch die Kolben aufgesteuert werden. Damit ist es möglich, völlig ohne Steuerventile auszukommen.

**[0015]** Ein besonders weicher Lauf der Maschine wird dadurch erreicht, dass das Fluid von einer Einströmkammer über eine Resonanzleitung in die Zylinder erfolgt. Die Resonanzleitung hat dabei die Aufgabe, eine gewisse Verzögerung bei der Einströmung des Fluids in die Zylinder zu verursachen, was insbesondere einem weichen Lauf zugute kommt. Auch die oben beschriebene Nacherwärmung kann so besonders vorteilhaft durchgeführt werden.

**[0016]** Insbesondere ist es dabei von Vorteil, wenn das Verfahren so geführt wird, dass bei Erreichen des oberen Totpunkts eines Kolbens folgende Schritte ausgeführt werden:

- es wird eine Verbindung zwischen der Einströmkammer und einem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung hergestellt, so dass Fluid in die Resonanzleitung einströmt, um weiter in den Zylinder zu strömen;
- es wird die Verbindung zwischen der Einströmkammer und einem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung unterbrochen;
- es wird eine Verbindung zwischen dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung und einem stromaufwärtigen Ende einer Bypassleitung hergestellt, die kürzer ist als die Resonanzleitung.
- es wird die Verbindung zwischen dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung und einem stromaufwärtigen Ende einer Bypassleitung unterbrochen.

**[0017]** Dadurch wird nach der Beendigung der Zufuhr von heißem Fluid aus der Einströmkammer die Möglichkeit geschaffen, dass das Fluid aus dem Bereich des stromaufwärtigen Endes einer Bypassleitung eine "Abkürzung" in den Zylinder nehmen kann. Dies ist vorteilhaft, da dieses Fluid aufgrund der Gasdynamik und des Widerstands in der Bypassleitung noch einen höheren Druck und eine höhere Temperatur aufweist als das Fluid im Zylinderraum. Ein zusätzlicher Effekt besteht darin, dass die Bypassleitung in der Kompressionsphase des Kolbens auch vor dem Öffnen der Verbindung zwischen Einströmkammer und dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung eine Verbindung zwischen Zylinderraum und dem stromaufwärtigen Ende der Bypassleitung herstellt, so dass der auf den Kolben wirkende Gegen-  
druck verringert werden kann.

**[0018]** Die Erfindung betrifft auch eine Expansionsmaschine mit einem Zylinder, in dem ein Kolben beweglich angeordnet ist, mit einem Steuermittel zur Steuerung des Einlasses des Fluids in den Zylinder, mit mindestens einer Einlassöffnung für den Zylinder und mit mindestens einer Auslassöffnung für den Zylinder.

**[0019]** Vorzugsweise sind ein erster und ein zweiter Zylinder vorgesehen, in denen jeweils ein erster bzw. ein zweiter Kolben beweglich angeordnet ist. Insbesondere sind die beiden Kolben durch eine gemeinsame Kolbenstange miteinander verbunden.

**[0020]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn der erste und der zweite Zylinder mit gemeinsamer Achse beidseits eines gemeinsamen Zylinderkopfs angeordnet sind. Erfindungsgemäß ist für jeden Zylinder mindestens eine Resonanzleitung vorgesehen, die zwischen dem Steuermittel und der Einlassöffnung angeordnet ist. Durch die Resonanzleitung werden gasdynamische Effekte erzielt, die zu einer Steigerung des Wirkungsgrads führen und einen ruhigen Lauf gewährleisten. Die dynamischen Strömungseffekte bewirken insbesondere, dass im Bereich des oberen Totpunkts, während der Öffnung des Steu-

ermittelt in der Resonanzleitung nicht ein Gleichgewichtszustand vorliegt, sondern ein Druckgefälle, das sich aufgrund der Länge und des geringen Durchmessers der Resonanzleitung nur langsam abbaut. Dadurch wird auch nach dem Schließen des Steuerschiebers ein Nachströmeffekt bewirkt, der sich positiv auf Laufruhe und Wirkungsgrad auswirkt.

**[0021]** Vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, dass die Resonanzleitung lang und dünn ist. Insbesondere hat es sich als günstig herausgestellt, wenn die Resonanzleitung eine Länge aufweist, die zwischen dem zehnfachen und dem tausendfachen, vorzugsweise zwischen dem zwanzigfachen und dem fünfhundertfachen hydraulischen Durchmesser an ihrer engsten Stelle liegt. Der hydraulische Durchmesser entspricht bei kreisförmigen Querschnitten dem geometrischen Innendurchmesser, ansonsten der vierfachen Querschnittsfläche, geteilt durch den benetzten Umfang.

**[0022]** Vorzugsweise sind die Steuermittel als fest mit der Kolbenstange verbundene Steuerschieber mit Ausnehmungen ausgebildet. Dadurch wird ein besonders einfacher Aufbau erreicht. Insbesondere ist es dabei von Vorteil, wenn die Kolbenstange als Steuerschieber ausgebildet ist.

**[0023]** Alternativ dazu kann vorgesehen sein, dass die Steuermittel als Einlassventile ausgebildet sind.

**[0024]** Konstruktiv besonders günstig ist es, wenn eine gemeinsame Einströmkammer für beide Zylinder vorgesehen ist. Dabei können unerwünschte Druckabfälle weitgehend vermieden werden, wenn die gemeinsame Einströmkammer ein Volumen aufweist, das mindestens ein Sechstel, vorzugsweise mindestens die Hälfte des Hubvolumens eines Zylinders aufweist. Auch können so unerwünschte Druckschwankungen im Versorgungsnetz stromaufwärts der Einströmkammer minimiert werden.

**[0025]** In einer besonders begünstigten Ausführungsvariante der Erfindung ist mindestens ein Wärmetauscher zum Nacherwärmen des Fluids vorgesehen. Dadurch kann Wärme auch während der Expansionsbewegung des Kolbens zugeführt werden, was zu einer entsprechenden Wirkungsgradverbesserung führt, da eine Annäherung an die an sich günstigere isotherme Expansion erreicht wird.

**[0026]** Als konstruktiv vorteilhaft wurde erkannt, die Resonanzleitung aus dem gemeinsamen Zylinderkopf herauszuführen. Insbesondere ist es dabei zur Steigerung des Wirkungsgrads möglich, dass die Resonanzleitung durch einen Wärmetauscher zum Nacherwärmen des Fluids geführt ist.

**[0027]** Eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads kann dadurch erreicht werden, dass parallel zur Resonanzleitung eine im Vergleich zu dieser kürzere Bypassleitung vorgesehen ist. Besonders einfach ist es dabei, wenn die Bypassleitung über den Steuerschieber gesteuert ist.

**[0028]** Vorzugsweise ist die Resonanzleitung im Bereich der Einlassöffnung diffusorartig erweitert, wobei der

Durchströmquerschnitt an der Einlassöffnung vorzugsweise zwischen 10% und 300% erweitert ist. Dadurch wird die Strömung in der Resonanzleitung beim Einströmen in den Zylinder beschleunigt, was zu einer verbesserten Füllung und zu einer Erhöhung des Wirkungsgrads führt.

**[0029]** In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist die erfindungsgemäße Expansionsmaschine als Freikolbenmaschine ausgebildet. Dies kann insbesondere so genutzt werden, dass mit den Kolben ein Lineargenerator zur Erzeugung elektrischen Stroms verbunden ist.

**[0030]** Alternativ dazu kann in herkömmlicher Weise mit den Kolben ein Kurbeltrieb verbunden sein.

**[0031]** In der Folge wird die vorliegende Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen: Fig. 1 eine erste Ausführungsvariante der Erfindung schematisch im Schnitt, die Fig. 2 eine Alternativvariante in einer analogen Darstellung und Fig. 3 eine weitere Ausführungsvariante.

**[0032]** Die Expansionsmaschine von Fig. 1 besteht aus einem Zylinderblock 1, der einen gemeinsamen Zylinderkopf 2 umfasst, an den ein erster Zylinder 3 und ein zweiter Zylinder 4 anschließen. Im ersten Zylinder 3 ist ein erster Kolben 5 und im zweiten Zylinder 4 ist ein zweiter Kolben 6 in Axialrichtung beweglich. Die Kolben 5, 6 sind durch eine gemeinsame Kolbenstange 7 fest miteinander verbunden. In Fig. 1 ist der erste Kolben 5 in der Nähe seines oberen Totpunkts dargestellt, so dass sich der zweite Kolben 6 in der Nähe seines unteren Totpunkts befindet.

**[0033]** Im Zylinderkopf 2 ist eine Einströmkammer 8 vorgesehen, die über eine Versorgungsleitung 9 laufend mit unter Druck stehendem Fluid, im vorliegenden Fall Frischdampf versorgt wird. Das Volumen der Einströmkammer 8 beträgt hier etwa 60% des Hubvolumens eines der Zylinder 3, 4.

**[0034]** Eine erste Resonanzleitung 10 ist aus dem Zylinderkopf 2 herausgeführt und steht mit dem ersten Zylinderraum 12 in dauerhafter Verbindung. Analog dazu ist eine zweite Resonanzleitung 11 ebenfalls aus dem Zylinderkopf 2 herausgeführt und steht mit dem zweiten Zylinderraum 13 in dauerhafter Verbindung. Die Verbindung der Resonanzleitungen 10, 11 an ihren stromabwärtigen Enden mit den Zylinderräumen 12, 13 erfolgt über Einlassöffnungen 17, 18.

**[0035]** Die Kolbenstange 7 ist durch Ausnehmungen 14 als Steuerschieber ausgebildet, um im Bereich des oberen Totpunkts der Kolben 5, 6 eine Verbindung zwischen der Einströmkammer 8 und dem stromaufwärtigen Ende der jeweiligen Resonanzleitung 10, 11 herzustellen.

**[0036]** Wärmetauscher 15 dienen zur zusätzlichen Erwärmung des Fluids in den Resonanzleitungen 10, 11, also beim Betrieb mit Dampf einer Überhitzung des Dampfs, wobei zur Vereinfachung der Darstellung nur die Wärmetauscher 15 auf den ersten Resonanzleitungen 10 dargestellt sind.

**[0037]** Auslassöffnungen 16, die von den Kolben 5, 6

im Bereich ihres unteren Totpunkts aufgesteuert werden, dienen zum Auslass des entspannten Fluids.

**[0038]** In der Folge wird der Betrieb der erfindungsgemäßen Expansionsmaschine näher erläutert.

**[0039]** In der in der Fig. 1 dargestellten Stellung ist durch die Ausnehmungen 14 der Kolbenstange 7, die hier das Steuermittel darstellen, eine Strömungsverbindung zwischen der Einströmkammer 8 und der ersten Resonanzleitung 10 hergestellt. Heißer Frischdampf strömt dann in die erste Resonanzleitung 10 ein, wobei aufgrund der dynamischen Effekte Druck und Temperatur am stromaufwärtigen Ende der ersten Resonanzleitung 10 höher sind als stromabwärts davon. Allerdings erfolgt eine Erwärmung und Überhitzung des Dampfs im Wärmetauscher 15, bevor der Dampf in den ersten Zylinderraum 12 einströmt. Während der Entspannung durch die Kolbenbewegung strömt weiter Dampf in den Zylinderraum 12, ein, und zwar in geringem Umfang auch noch nach dem Schließen der Verbindung zwischen der Einströmkammer 8 und der ersten Resonanzleitung 10. Dadurch wird in Verbindung mit der Nacherwärmung im Wärmetauscher 15 an Stelle einer adiabaten Expansion eine Annäherung an eine thermodynamisch an sich günstigere isotherme Expansion erreicht.

**[0040]** Im Bereich des unteren Totpunkts werden die Auslassöffnungen 16 aufgesteuert, um das entspannte Fluid ausströmen zu lassen. Bei der nachfolgenden Kompression dient die Resonanzleitung 10 als Puffervolumen, das die Kompressionsarbeit verringert.

**[0041]** Die Ausführungsvariante von Fig. 2 unterscheidet sich von der von Fig. 1 dadurch, dass durch eine Bypassleitung 19 eine zusätzliche Verbindung zwischen dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung 10 und dem Zylinderraum 12 verwirklicht ist. Eine analoge Verbindung durch eine weitere Bypassleitung zwischen der Einströmkammer 8 und dem zweiten Zylinderraum 13 ist zur Vereinfachung nicht dargestellt.

**[0042]** Die Bypassleitung 19 wird bei der Expansionsbewegung durch eine Steuerkante 20 aufgesteuert, nachdem der Steuerschieber 7 die Verbindung zwischen der Einströmkammer 8 und dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung 10 unterbrochen hat. Durch diese zusätzliche Verbindung können die Drosselverluste in der Resonanzleitung 10 verringert werden. Eine analoge Verbindung durch die Bypassleitung 19 während der Kompressionsphase dient ebenfalls der Verringerung von Strömungsverlusten.

**[0043]** Bei beiden der oben beschriebenen Ausführungsvarianten kann mechanisch Arbeit oder elektrische Energie dadurch gewonnen werden, dass entweder ein Lineargenerator oder ein Kurbeltrieb mit den Kolben verbunden ist, was in den Figuren nicht dargestellt ist.

**[0044]** Bei der Ausführungsvariante von Fig. 3 erfolgt die Steuerung der Fluidzufuhr über Einlassventile 14a, 14b, die hier die Steuermittel bilden. Diese können mechanisch (z.B. über Nocken) oder elektromagnetisch betätigt sein. Die Ventilsteuerung ermöglicht es, die Steuerzeiten an Last und Arbeitsfrequenz kennfeldgesteuert

anzupassen.

**[0045]** Wesentlich ist, dass die Resonanzleitungen 10, 11 zwischen den Einlassventilen 14a, 14b und den Einlassöffnungen 17, 18 eine ausreichende Länge aufweisen, um entsprechende gasdynamische Effekte zu ermöglichen.

**[0046]** Bei dieser Ausführungsvariante ist auch ein kombinierter Wärmetauscher 15 für beide Resonanzleitungen 10, 11 vorgesehen. Ansonsten entspricht diese Ausführungsvariante den oben beschriebenen.

**[0047]** Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, Arbeitsmaschinen darzustellen, die einen einfachen Aufbau und einen hohen Wirkungsgrad aufweisen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung mechanischer Arbeit aus der Entspannung eines Fluids in einer Expansionsmaschine mit einem ersten und einem zweiten Zylinder (3, 4) mit gemeinsamer Achse, wobei im ersten und im zweiten Zylinder (3, 4) ein erster bzw. ein zweiter Kolben (5, 6) beweglich angeordnet sind und wobei das Fluid gesteuert durch ein Steuermittel (14; 14a, 14b) über jeweils mindestens eine Einlassöffnung (17, 18) in die Zylinder (3, 4) eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluid stromabwärts der Steuermittel (14; 14a, 14b) jeweils über eine Resonanzleitung (10, 11) zu der Einlassöffnung (17, 18) geführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** Auslassöffnungen (16) in einem Bereich entfernt von einem gemeinsamen Zylinderkopf (2) durch die Kolben (5, 6) aufgesteuert werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluid stromabwärts der Steuermittel (14; 14a, 14b) vor dem Einströmen in einen Zylinderraum (12, 13) nacherwärmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen des oberen Totpunkts eines Kolbens (5, 6) folgende Schritte ausgeführt werden:
  - es wird eine Verbindung zwischen einer Einströmkammer und einem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung (10, 11) hergestellt, so dass Fluid in die Resonanzleitung (10, 11) einströmt, um weiter in den Zylinder (3, 4) zu strömen;
  - es wird die Verbindung zwischen der Einströmkammer (8) und einem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung (10, 11) unterbrochen;
  - es wird eine Verbindung zwischen dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung (10, 11)

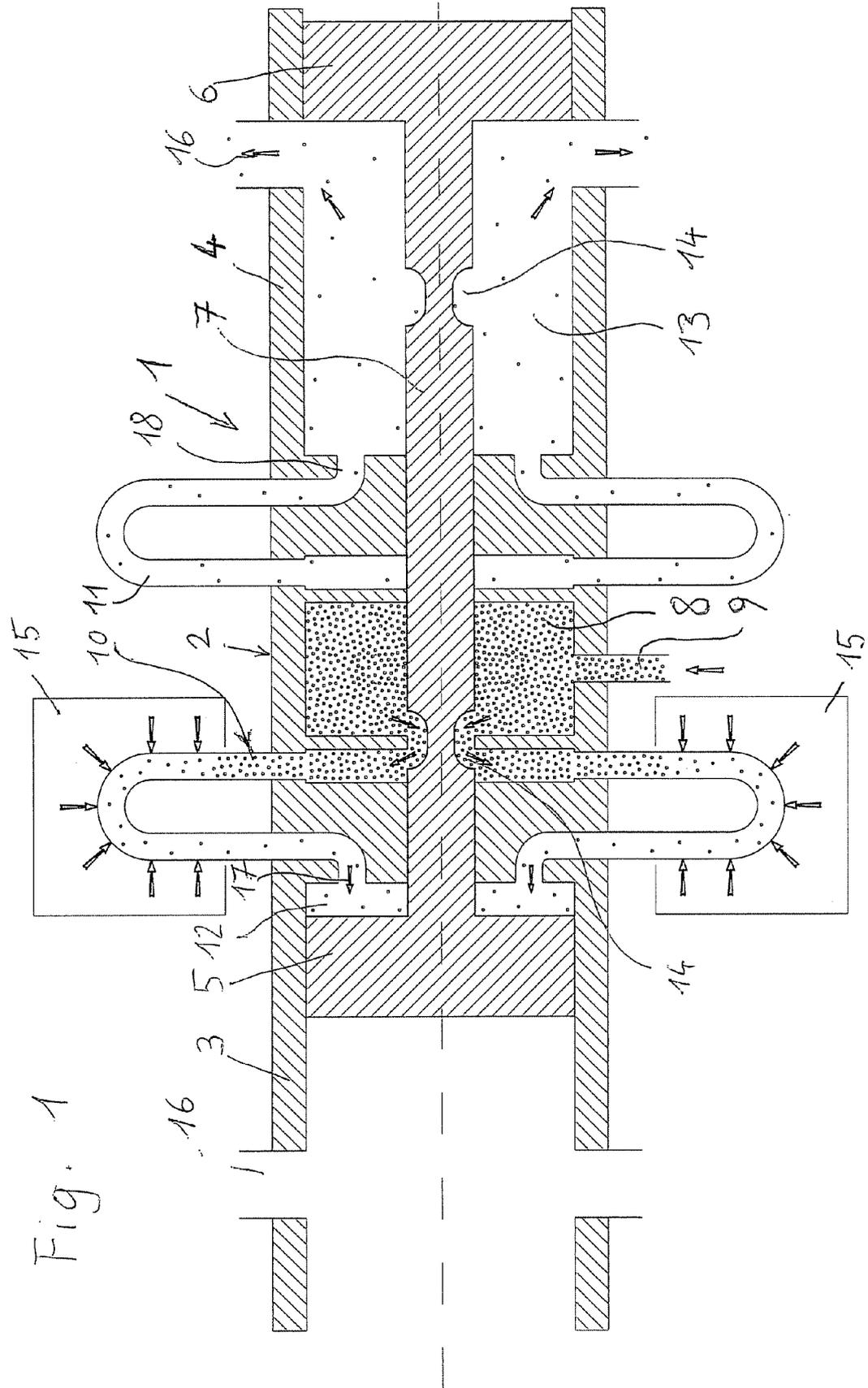
und einem stromaufwärtigen Ende einer Bypassleitung (19) hergestellt, die kürzer ist als die Resonanzleitung (10, 11);

- es wird die Verbindung zwischen dem stromaufwärtigen Ende der Resonanzleitung (10, 11) und einem stromaufwärtigen Ende einer Bypassleitung (19) unterbrochen.

5. Expansionsmaschine mit einem ersten und einem zweiten Zylinder (3, 4) Zylinder (3, 4), in dem ein erster bzw. ein zweiter Kolben (5, 6) beweglich angeordnet sind, wobei die beiden Kolben (5, 6) vorzugsweise durch eine gemeinsame Kolbenstange (7) miteinander verbunden sind, mit einem Steuermittel (14; 14a, 14b) zur Steuerung des Einlasses des Fluids in den Zylinder, mit mindestens einer Einlassöffnung (17, 18) für die Zylinder (3, 4) und mit mindestens einer Auslassöffnung (16) für den Zylinder (3, 4), **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Zylinder (3, 4) jeweils mindestens eine Resonanzleitung (10, 11) vorgesehen ist, die zwischen dem Steuermittel (14; 14a, 14b) und der Einlassöffnung (17, 18) angeordnet ist.
6. Expansionsmaschine nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Zylinder (3, 4) mit gemeinsamer Achse beidseits eines gemeinsamen Zylinderkopfs (2) angeordnet sind.
7. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Auslassöffnung (16) für jeden Zylinder (3, 4) in einem Bereich entfernt von dem Zylinderkopf (2) angeordnet ist.
8. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzleitung (10, 11) eine Länge aufweist, die zwischen dem zehnfachen und dem tausendfachen, vorzugsweise zwischen dem zwanzigfachen und dem fünfhundertfachen hydraulischen Durchmesser an ihrer engsten Stelle liegt.
9. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuermittel (14; 14a, 14b) als fest mit der Kolbenstange (7) verbundene Steuerschieber mit Ausnehmungen (14) ausgebildet sind, wobei die Kolbenstange (7) vorzugsweise als Steuerschieber ausgebildet ist.
10. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuermittel (14; 14a, 14b) als Einlassventile (14a, 14b) ausgebildet sind.
11. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zylinderkopf (2) mindestens eine Einströmkammer (8)

vorgesehen ist, die über das Steuermittel (14; 14a, 14b) und der Einlassöffnung (17, 18) verbunden ist.

12. Expansionsmaschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einströmkammer (8) ein Volumen aufweist, das mindestens ein Sechstel, vorzugsweise mindestens die Hälfte des Hubvolumens eines Zylinders (3, 4) aufweist. 5
13. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Bereich entfernt vom gemeinsamen Zylinderkopf (2) Auslassöffnungen (16) vorgesehen sind, die durch die Kolben (5, 6) aufgesteuert werden. 10  
15
14. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzleitung (10, 11) aus dem gemeinsamen Zylinderkopf (2) herausgeführt ist. 20
15. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzleitung (10, 11) durch einen Wärmetauscher (15) zum Nacherwärmen des Fluids geführt ist. 25
16. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** parallel zur Resonanzleitung (10, 11) eine im Vergleich zu dieser kürzere Bypassleitung (19) vorgesehen ist, die vorzugsweise über den Steuerschieber (7) gesteuert ist. 30
17. Expansionsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Resonanzleitung (10, 11) im Bereich der Einlassöffnung (17, 18) diffusorartig erweitert ist, wobei der Durchströmquerschnitt an der Einlassöffnung (17, 18) vorzugsweise zwischen 10% und 300% erweitert ist. 35  
40  
45  
50  
55





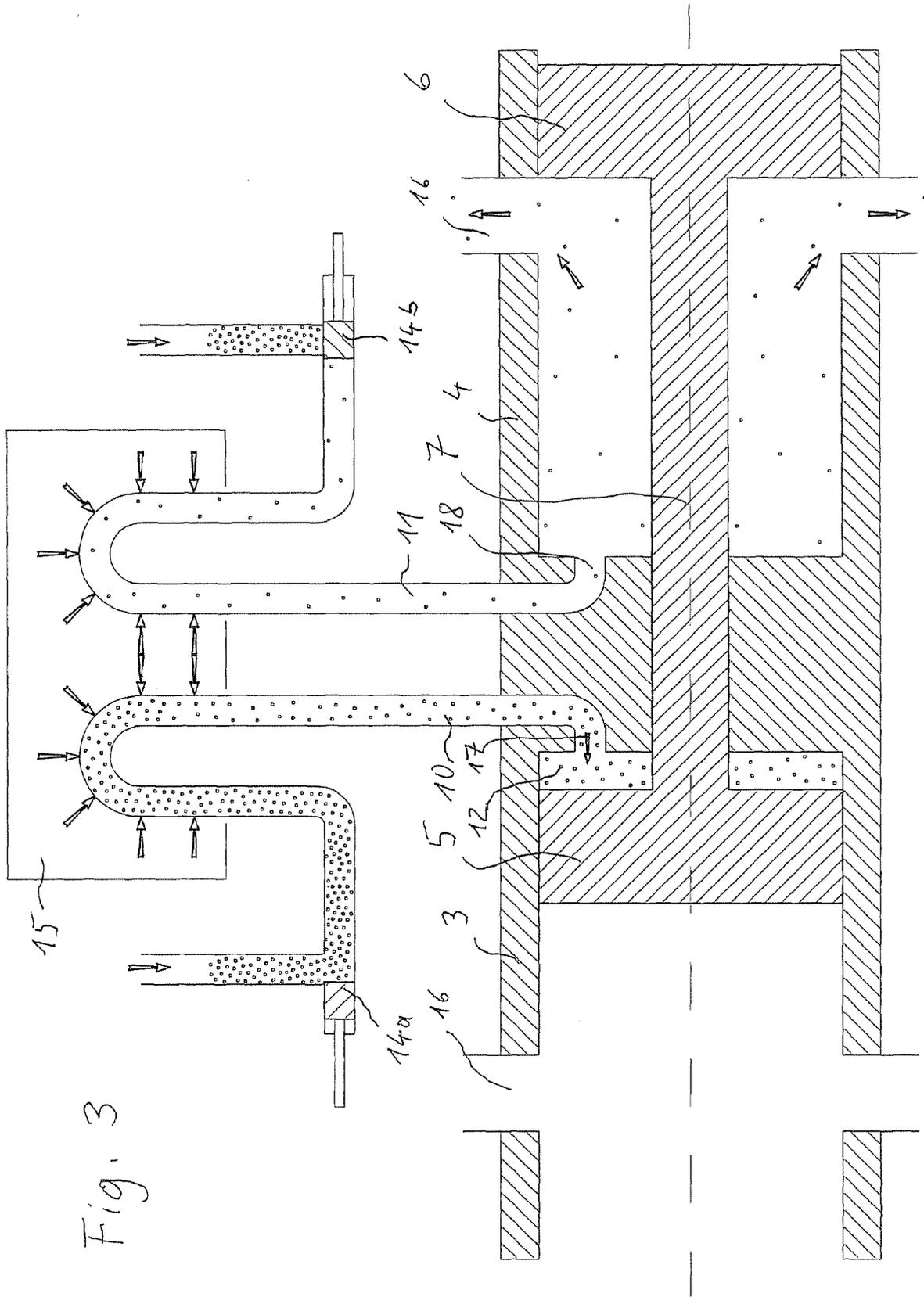


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 14 18 6740

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	US 1 798 816 A (STEVENS ROBERT C) 31. März 1931 (1931-03-31) * Seite 1, Zeile 93 - Seite 2, Zeile 61; Abbildungen 1-9 *	1-15	INV. F01B17/04 F01K3/18 F01L21/00 F01B7/16
X	US 4 783 966 A (ALDRICH CLARE A [US]) 15. November 1988 (1988-11-15) * Spalte 7, Zeile 52 - Spalte 12, Zeile 53; Abbildung 3 *	1-17	ADD. F01K3/02
X	NL 56 533 C (SCHMIDTSCHHE HEISSDAMPF-GMBH) 15. Juni 1944 (1944-06-15) * Seite 1, Zeile 64 - Seite 2, Zeile 109; Abbildung 2 *	1-15	
A,D	DE 32 15 487 A1 (OSTERBURG GUENTER; STALLKAMP HEINRICH) 3. November 1983 (1983-11-03) * Seite 2; Abbildung 1 *	9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01B F01K F01L F02M F02B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Januar 2015	Prüfer Tietje, Kai
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 14 18 6740

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-01-2015

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 1798816      A	31-03-1931	KEINE	
US 4783966      A	15-11-1988	KEINE	
NL 56533          C	15-06-1944	KEINE	
DE 3215487      A1	03-11-1983	KEINE	

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**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**

- GB 16274 A [0008]
- DE 3215487 A [0008]
- US 1798816 A [0009]