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

(11) EP 2 133 568 B1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
30.04.2014 Patentblatt 2014/18

(21) Anmeldenummer: **08010771.7**

(22) Anmeldetag: **13.06.2008**

(51) Int Cl.:
F04B 25/00 *(2006.01)* ***F04B 25/02*** *(2006.01)*

(54) **Mehrstufiger Kolbenkompressor**

Multi-stage piston compressor

Compresseur à piston à plusieurs étages

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.12.2009 Patentblatt 2009/51

(73) Patentinhaber:
- **J.P. Sauer & Sohn Maschinenbau GmbH**
  24159 Kiel (DE)
- **Borsig Compressor Parts GmbH**
  13507 Berlin (DE)

(72) Erfinder:
- **Schulz, Harald**
  24159 Kiel (DE)
- **Tittel, Roland**
  24214 Gettorf (DE)

(74) Vertreter: **Hemmer, Arnd et al**
Patentanwälte
Vollmann & Hemmer
Wallstrasse 33a
23560 Lübeck (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-B- 1 228 023
DE-C- 669 154
DE-C- 681 653
US-A- 5 863 186
US-A1- 2005 042 111

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 133 568 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen mehrstufigen Kolbenkompressor mit zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten.

[0002] Es sind mehrstufige Kolbenkompressoren bekannt, um den Druck eines Gases in mehreren Stufen zu erhöhen. Bei derartigen mehrstufigen Kompressoren wird in einer ersten Stufe durch eine erste Kolben-Zylinder-Einheit der Ausgangsdruck auf einen ersten Zwischendruck erhöht. Dieser erste Zwischendruck wird dann in der zweiten Stufe durch eine zweite Kolben-Zylinder-Einheit auf einen nochmals höheren Druck erhöht. Dies setzt sich je nach Anzahl der verwendeten Stufen weiter fort. Bei den bekannten Kolbenkompressoren werden die Kolben aller Kolben-Zylinder-Einheiten über eine gemeinsame Kurbelwelle angetrieben, welche den Hub der Kolben fest vorgibt. In Abhängigkeit des Druckverhältnisses zwischen den einzelnen Stufen ist darüber hinaus der Durchmesser der einzelnen Zylinder unterschiedlich gewählt, d. h. von Stufe zu Stufe verkleinert sich der Innendurchmesser der Zylinder, da mit jeder Druckerhöhung das Volumen des Gases abnimmt. Die bekannten mehrstufigen Kolbenkompressoren sind daher so, dass diese durch ihre mechanische Konstruktion auf bestimmte Stufendruckverhältnisse, sowie einen bestimmten Gesamtvolumenstrom und einen bestimmten Gesamtdruck festgelegt. Variationen sind nur begrenzt durch unterschiedliche Ventilsteuerung möglich. Daher ist es problematisch derartige Kolbenkompressoren dort einzusetzen, wo unterschiedliche Verdichtungen bzw. Drücke und unterschiedliche Volumenströme mit ein und derselben Maschine realisiert werden sollen.

[0003] DE 1228 023 offenbart einen hydraulisch betriebenen Schubkolbenverdichter. Dieser Verdichter ist mehrstufig ausgelegt. Dabei ist für jede Stufe eine regelbare Antriebspumpe für den hydraulischen Antrieb der Schubkolben vorgesehen. Durch die Drehzahländerung der Pumpe kann die Hubzahl des Verdichterkolbens variiert werden. Auf diese Weise können gewünschte Ausgangsdrücke der einzelnen Stufen genau eingestellt werden. Diese Ausgestaltung lässt jedoch keine beliebige Variation der zu fördernden Volumina und Drücke zu.

[0004] US 5,863,186 offenbart einen mehrstufigen hydraulisch angetriebenen Kompressor, bei welchem eingangsseitig jedes Verdichterkolbens ein Steuerventil angeordnet ist, um die Zufuhr des antreibenden Fluids abzuschalten. Auf diese Weise kann der Verdichtungsvorgang jedes einzelnen Kolbens gezielt gestoppt werden. Auf diese Weise lässt sich bei diesem Kompressor der erreichte Zwischendruck in jeder Stufe genau einstellen. Eine individuelle Anpassung des zu fördernden Volumens und des Druckes ist jedoch bei dieser Ausgestaltung nicht möglich.

[0005] Es ist daher Aufgabe der Erfindung einen mehrstufigen Kolbenkompressor dahingehend zu verbessern, dass mit ein und derselben Maschine Druck und Volumenstrom auf einfache Weise variiert werden können.

[0006] Diese Aufgabe wird durch einen mehrstufigen Kolbenkompressor mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigefügten Figuren.

[0007] Der erfindungsgemäße mehrstufige Kolbenkompressor weist zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten auf, d. h. er ist mindestens zweistufig ausgebildet. In dem Fall, dass mehr Stufen vorgesehen sind, sind entsprechend mehr Kolben-Zylinder-Einheiten vorgesehen. Dabei ist für jede Stufe mindestens eine Kolben-Zylinder-Einheit vorgesehen. Erfindungsgemäß ist jede Kolben-Zylinder-Einheit jeweils mit einem separaten elektrischen Linearantrieb zur Bewegung des Kolbens versehen. Das heißt der Kolben der ersten Kolben-Zylinder-Einheit, d. h. der ersten Stufe wird über einen separaten Linearantrieb bewegt und der Kolben der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit, d. h. der zweiten Stufe wird über einen eigenen separaten Linearantrieb angetrieben. So ist für jede Stufe, d. h. für jede Kolben-Zylinder-Einheit, welche eine Stufe bildet, ein separater Linearantrieb zur Bewegung des Kolbens vorgesehen. Das heißt hier wird auf eine gemeinsame Antriebskurbelwelle und somit eine mechanische Kopplung der Bewegung der Kolben der einzelnen KolbenZylinder-Einheiten verzichtet. Eine Synchronisation bzw. Kopplung der Bewegung der einzelnen Kolben der Kolben-Zylinder-Einheit erfolgt erfindungsgemäß rein steuerungstechnisch durch Steuerung der Linearantriebe.

[0008] Hierzu ist erfindungsgemäß eine Steuereinrichtung vorgesehen, welche derart ausgestaltet ist, dass die Linearantriebe von dieser individuell in Geschwindigkeit und Hub steuerbar sind. Das heißt, die Steuereinrichtung ist so ausgebildet, dass sie die Linearantriebe der einzelnen Kolben-Zylinder-Einheiten unabhängig voneinander ansteuern kann, d. h. für jeden Linearantrieb kann der Hub des Kolbens und auch die Bewegungsgeschwindigkeit des Kolbens separat gesteuert bzw. eingestellt werden. Darüber hinaus können auch Anfangs- und Endzeitpunkt der Kolbenbewegung für jede Kolben-Zylinder-Einheit separat festgelegt und ggf. verändert werden, indem die Steuereinrichtung den jeweils zugehörigen Linearantrieb der Kolben-Zylinder-Einheit entsprechend ansteuert, d. h. die Kolbenbewegung beginnt und stoppt.

[0009] Dadurch, dass auf dem mechanische Bewegungskopplung der einzelnen Kolben verzichtet wird, lässt sich der mehrstufige KolbenKompressor flexibel auf unterschiedliche Förderleistungen und Drücke einstellen. So kann beispielsweise die Geschwindigkeit der Kolben verringert werden, wenn ein verringerter Volumenstrom gewünscht ist. Dabei müssen nicht Hub und Geschwindigkeit aller Kolben im gleichen Maße vergrößert oder verkleinert werden, vielmehr ist es durch die erfindungsgemäße unabhängige Steuerung der Antriebe möglich, den Hub und die Geschwindigkeit der einzelnen Kolben der verschiedenen Stufen unabhängig voneinan-

der zu variieren, Insbesondere ist es möglich, das Hubvolumen durch Änderung des Hubs beispielsweise der zweiten Stufe in Abhängigkeit von der Druckerhöhung, welche in der ersten Stufe stattfindet, zu verändern.

[0010] Vorzugsweise ist die Steuereinrichtung somit derart ausgebildet, dass durch die individuelle Steuerung der Linearantriebe der zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten das Stufendruckverhältnis der KolbenZylindereinheit veränderbar ist. Dies ist bei herkömmlichen KolbenKompressoren, welche über eine gemeinsame, alle Kolben antreibende Kurbelwelle verfügen, nicht möglich, da Druckverhältnis und Volumenverhältnis zwischen den einzelnen Stufen fest aufeinander abgestimmt sind. Durch die mechanisch unabhängigen Antriebe der näheren Kolben-Zylinder-Einheiten und die zugehörigen individuelle Steuerung, ist es gemäß der Erfindung möglich, die Stufendruckverhältnisse der einzelnen Stufen zu verändern. Wenn das Stufendruckverhältnis einer vorangehenden, beispielsweise der ersten Stufe erhöht wird, kann entsprechend das Hubvolumen durch Verkleinerung des Hubes in der darauf folgenden Stufe, d. h. beispielsweise der zweiten Stufe angepasst werden. Das Stufendruckverhältnis kann dabei ebenfalls durch Veränderung des Hubes verändert werden. Dabei ist es gleichzeitig möglich die Verfahrgeschwindigkeiten so anzupassen, dass auch bei unterschiedlichem Hub die einzelnen Stufen, d. h. die einzelnen Kolben-Zylinder-Einheiten mit derselben Frequenz arbeiten. Durch die individuelle Steuerung der Antriebe lässt sich darüber hinaus der schädliche Raum im Zylinder verkleinern, d. h. die volumetrischen Verluste können verringert werden, da oberer und unterer Totpunkt durch den Linearantrieb und die genauere Steuerung präzise angefahren werden können.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten derart ausgebildet, dass ihre Zylinder unterschiedlich große Innenquerschnitte, d. h. insbesondere unterschiedliche Durchmesser aufweisen. Die zugehörigen Kolben sind dabei in ihrem Querschnitt bzw. Durchmesser an den Innenquerschnitt der Zylinder angepasst. Durch diese Ausgestaltung wird erreicht, dass in der zweiten Stufe des Kompressors, welche aufgrund des höheren Druckes ein geringeres Hubvolumen als die erste Stufe haben muss, dieses verringerte Hubvolumen nicht nur durch Veränderung des Hubes mittels des Linearantriebes erreicht wird, sondern auch durch bauliche Anpassung der Kolben-Zylinder-Einheit der zweiten und der folgenden Stufen. Das heißt vorzugsweise verringert sich der Innenquerschnitt von Stufe zu Stufe. Das auf diese Weise mechanisch vorgegebene Volumenverhältnis zwischen den einzelnen Zylindern legt dabei jedoch aufgrund der getrennten Linearantriebe nicht auch automatisch die Druck- bzw. Stufendruckverhältnisse an den Stufen fest. Diese können vielmehr immer noch durch Veränderung des Hubes des jeweiligen Linearantriebes durch entsprechende Programmierung bzw. Einstellung der Steuereinrichtung verändert werden. So wird vereinfacht gesagt durch die die mechanische Größenabstufung der Zylinder eine grobe Volumenanpassung erreicht, während die individuelle Feinanpassung von der Steuereinrichtung durch individuelle Steuerung des Hubes der Linearantriebe erreicht wird.

[0012] Weiter bevorzugt weisen die Linearantriebe jeweils einen drehenden Antriebsmotor, insbesondere einen Servomotor, und einen Spindeltrieb auf, welcher die Drehbewegung des Antriebsmotors in eine Linearbewegung für den Kolben umsetzt. Durch einen solchen Antrieb lassen sich ausreichend große Kräfte auf den Kolben aufbringen. Ferner lässt dieser sich in seinem Hub und seiner Fahrgeschwindigkeit präzise steuern bzw. regeln. Hierzu können an dem Kolben, dem Spindeltrieb, und/oder dem Antriebsmotor Positionssensoren vorgesehen sein, um die aktuelle Position des Kolbens genau zu erfassen und die Bewegung des Kolbens durch Steuerung bzw. Regelung des Antriebsmotors präzise zu regeln. Die Steuereinrichtung ist dementsprechend ausgebildet, die von den Sensoren erfassten Signale zu verarbeiten und den Antriebsmotor unter Berücksichtigung dieser Signale anzusteuern. Der Spindeltrieb kann bekannterweise, beispielsweise mit einer Kugelumlaufmutter ausgestaltet sein. Vorzugsweise ist der Spindeltrieb dauergeschmiert, insbesondere lebensdauergeschmiert, sodass keine laufende Schmiermittelzufuhr im Betrieb erforderlich ist. Es ist jedoch zu verstehen, dass auch anders ausgebildete Linearantriebe Verwendung finden können, welche geeignet sind, einen Kolben linear zu bewegen, und sich einzeln von der Steuereinrichtung ansteuern lassen. Dies können insbesondere andere elektrische Linearantriebe sein. Dabei können ggf. geeignete Getriebemittel vorgesehen sein, um eine drehende Bewegung in eine lineare Bewegung umzusetzen. Dabei ist die Linearbewegung jedoch erfindungsgemäß in Hub und Geschwindigkeit durch die Steuereinrichtung variabel.

[0013] Weiter bevorzugt sind die Kolben-Zylinder-Einheiten trockenlaufend ausgebildet. So kann auf eine Schmierung im Betrieb verzichtet werden, was den Gesamtaufbau des Kompressors deutlich vereinfacht und einen Einsatz auch dort ermöglicht, wo eine Kontamination des zu verdichtenden Gases mit Schmiermittel vermieden werden muss.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann zwischen zwei Kolben-Zylinder-Einheiten ein Zwischenkühler angeordnet sein. Dieser kühlt das aus einer ersten Kolben-Zylinder-Einheit austretende komprimierte Gas ab, bevor es in die nachfolgende zweite Kolben-Zylinder-Einheit der zweiten Stufe des Kompressors eintritt. Entsprechend kann ein derartiger Zwischenkühler auch zwischen einer zweiten und dritten, dritten und vierten Stufe, usw. angeordnet sein, abhängig davon, wie viel Stufen der Kompressor aufweist. Ferner kann ein solcher Kühler auch ausgangsseitig der letzten Stufe angeordnet sein.

[0015] Weiter bevorzugt können die Kolben-Zylinder-Einheiten jeweils doppelhubig ausgebildet sein, sodass

eine Förderung bzw. Kompression sowohl beim Hin- als auch beim Rückhub erfolgt.

[0016] Gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist ausgangsseitig zumindest einer ersten Kolben-Zylinder-Einheit ein Umschaltventil angeordnet, mittels welchem der ausgangsseitige Strömungsweg zwischen einer nachfolgenden zweiten Kolben-Zylinder-Einheit und einer Ausgangsleitung, vorzugsweise einer Ausgangsleitung für mehrere Kolben-Zylinder-Einheiten umschaltbar ist. Dieses Umschaltventil kann auch über die Steuereinrichtung betätigbar sein oder aber manuell betätigbar sein. Ein solches Umschaltventil ermöglicht es, den erfindungsgemäßen Kolbenkompressor von einem mehrstufigen Betrieb in einen mehrflutigen Betrieb umzustellen, in welchem die einzelnen Kolben-Zylinder-Einheiten der mehreren Stufen nicht einander nachgeschaltet angeordnet sind sondern parallel geschaltet betrieben werden. Ein solcher Einsatz kann dann bevorzugt sein, wenn ein großer Volumenstrom bei geringerem Druckverhältnis zwischen Ein- und Ausgangsdruck des Kompressors gewünscht ist. Je nach Anzahl der Stufen bzw. Kolben-Zylinder-Einheiten in dem Kolbenkompressor kann es auch möglich sein, nicht alle Kolben-Zylinder-Einheiten parallel zu schalten, sondern nur einzelne. Ferner ist es durch Verwendung eines solchen Umschaltventils auch möglich, einzelne Kolben-Zylinder-Einheiten ganz abzuschalten. So kann beispielsweise bei einem dreistufigen Kolbenkompressor das Umschaltventil, welches ausgangsseitig der zweiten Stufe, d. h. der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit angeordnet ist, so umgeschaltet werden, dass der Strömungsweg nicht mehr zu der dritten Kolben-Zylinder-Einheit führt, sondern die Strömung direkt in eine Ausgangsleitung des Kolbenkompressors gelenkt wird. Von der so abgetrennten bzw. abgeschalteten Kolben-Zylinder-Einheit wird dann der Linearantrieb von der Steuereinrichtung überhaupt nicht in Betrieb gesetzt. Auf diese Weise lässt sich der Wirkungsgrad des Kompressors in einen solchen Betriebsmodus erhöhen, da eine Verlustleistung reduziert werden kann.

[0017] Die Steuereinrichtung ist vorzugsweise als speicherprogrammierbare Steuerung ausgebildet, an welcher bestimmte Ausgangsparameter, insbesondere gewünschter Druck und Fördervolumen eingestellt werden können. Darüber hinaus kann die Steuereinrichtung so ausgebildet sein, dass sie Signale verschiedener Sensoren verarbeiten und die Linearantriebe der einzelnen Stufen bzw. Kolben-Zylinder-Einheiten unter Berücksichtigung dieser von Sensoren erfassten Parameter steuert. Dies können beispielsweise Druck- oder Temperatursensoren sein, welche ein- und ausgangsseitig des Kompressors und/oder zwischen den einzelnen Stufen des Kompressors angeordnet sind, um den Betriebszustand zu überwachen. Der Druck und/oder Temperatursignale können dann beispielsweise von der Steuereinrichtung berücksichtigt werden, um Hub und Geschwindigkeit der Linearantriebe so zu steuern, dass gewünschte vorgegebene Druckwerte bzw. Druckverhältnisse von dem Kompressor erreicht werden. Relativ oder zusätzlich wäre auch eine Überwachung des Volumenstroms in entsprechender Weise möglich. Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand der beigefügten Figuren beschrieben. In diesen zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines dreistufigen Kolbenkompressors gemäß der Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines dreistufigen Kolbenkompressors gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 3 einen schematischen Schaltplan des Kompressors gemäß Fig. 2, und

Fig. 4 eine geschnittene Ansicht eines Zylinders.

[0018] Der in Fig. 1 gezeigte Kolbenkompressor ist dreistufig ausgelegt und weist entsprechend drei Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4 und 6 auf. Die Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 bestehen jeweils wie in Fig. 4 gezeigt ist, aus einem im Querschnitt kreisförmigen Zylinder 8 und einem darin linear beweglichen Kolben 10. Der Kolben 10 ist mit einer Kolbenstange 12 verbunden. Der Zylinder 8 weist in bekannter Weise Ein- und Auslassventile, welche als federbelastete Rückschlagventile ausgebildet sein können, auf, welche entsprechend mit Ein- und Austrittsleitungen verbunden sind.

[0019] Erfindungsgemäß weist jede Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6 einen eigenen Linearantrieb, 14, 16, 18 auf. Die Kolben-Zylinder-Einheit 2 weist einen Linearantrieb 14 auf, welcher mit der Kolbenstange 12 der Kolben-Zylinder-Einheit 2 verbunden ist, um deren Kolben 10 linear im Inneren des Zylinders 8 zu bewegen. Entsprechend ist die Kolben-Zylinder-Einheit 4 mit einem eigenen Linearantrieb 16 verbunden, welche den Kolben 10 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 bewegt. Die dritte Kolben-Zylinder-Einheit 6 weist einen eigenen Linearantrieb 18 auf, welche den Kolben 10 der Kolben-Zylinder-Einheit 6 in deren Zylinder 8 bewegt.

[0020] Die Linearantriebe 14, 16, 18 sind als Spindeltriebe ausgebildet, welche jeweils durch einen Servomotor 20, 22, 24 angetrieben werden. Der Servomotor 20 ist dem Linearantrieb 14, der Servomotor 22 dem Linearantrieb 16 und der Servomotor 24 dem Linearantrieb 18 zugeordnet. Insofern weist jede Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6 einen eigenen unabhängigen Antrieb für den jeweiligen Kolben auf. Über die Linearantriebe 14, 16, 18 können die Kolben 10 sehr präzise bewegt werden.

[0021] Die Servomotoren 20, 22 und 24 der Linearantriebe 14, 16 und 18 sind über elektrische Leitungen 26 mit einer Steuereinrichtung 28 verbunden, welche die Linearantriebe 14, 16, 18 bzw. deren Servomotoren 20, 22, 24 ansteuert bzw. regelt.

[0022] Durch die Steuereinrichtung 28 kann eine elektronische Kopplung der Antriebe der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 erreicht werden. Diese hat gegenüber

einer mechanischen Kopplung, wie sie bei herkömmlichen Kolbenkompressoren über die gemeinsame Kurbelwelle erzielt wird, den Vorteil, dass die Kopplung variabel ist und gemäß unterschiedlicher Steuer- bzw. Regelprogramme in der Steuereinrichtung 28 verändert werden kann. So können Hub und Hubgeschwindigkeit jedes einzelnen Linearantriebs 14, 16, 18 von der Steuereinrichtung 28 vorgegeben werden. Das heißt die Kolben jeder Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6 können unabhängig von den jeweiligen anderen Kolben verfahren bzw. in ihrer Bewegung gesteuert werden. Dadurch ergibt sich ein wesentlich flexiblerer Einsatz des Kompressors mit größeren Verstellbereichen hinsichtlich erzielbarer Druckdifferenzen und Volumenströme.

[0023] Die erste Kolben-Zylinder-Einheit 2 weist einen Gaseinlass 30 auf. Die Austrittsöffnung 32 der ersten Kolben-Zylinder-Einheit 2 ist über eine Leitung 33 mit der Eintrittsöffnung 34 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 verbunden. Die Austrittsöffnung 36 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 ist über eine Leitung 37 mit der Eintrittsöffnung 38 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 verbunden. Die Austrittsöffnung 40 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit ist mit einer Druckleitung 42, welche die Austrittsleitung des Kompressors bildet, verbunden. Auf diese Weise kann das in den Gaseinlass 30 eintretende Gas in drei Stufen in den Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4 und 6 verdichtet werden. Dabei erhöht sich der Druck in jeder Stufe. Da sich durch die Druckerhöhung auch im entsprechenden Verhältnis das Volumen verringert, sind die drei Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 in unterschiedlichen Querschnittsgrößen ausgeführt. Die zweite Kolben-Zylinder-Einheit 4, welche die zweite Stufe des Kompressors bildet, weist einen kleineren Querschnitt, d. h. einen kleineren Innendurchmesser des Zylinders 8 und einen kleiner Durchmesser des zugehörigen Kolbens 10 auf als bei der ersten Kolben-Zylinder-Einheit 2. Entsprechend ist der Querschnitt der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 noch einmal kleiner als der der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4. Diese Größenänderungen entsprechen vorzugsweise dem Verhältnis der Druckerhöhung von Stufe zu Stufe, d. h. von Kolben-Zylinder-Einheit 2 zu Kolben-Zylinder-Einheit 4 bzw. von Kolben-Zylinder-Einheit 4 zu Kolben-Zylinder-Einheit 6. Da bei dem erfindungsgemäßen System das Stufendruckverhältnis variabel ist, wird die Größenabstufung im Querschnitt der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 vorzugsweise so gewählt, dass sie einem mittleren einstellbaren Stufendruckverhältnis entspricht. Weitere Volumenvariationen können dann durch die Steuerung des Hubes jeweiligen des Kolbens 10 über den individuellen Linearantrieb 14, 16, 18 erfolgen. Im Unterschied zu Kurbelwellen getriebenen Systemen ist der Hub des Kolbens 10 erfindungsgemäß nämlich nicht vorgegeben, sondern über den zugehörigen Linearantrieb 14, 16, 18 variabel.

[0024] Die Steuereinrichtung 28 ist vorzugsweise als speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet und weist eine Anzeige- und Eingabeeinrichtung 44 auf, welche beispielsweise aus einer geeigneten Tastatur und einem Display oder auch aus einem berührungsempfindlichen Display bestehen kann. Alternativ oder zusätzlich können Schnittstellen zu Computersystemen vorgesehen sein. Alternativ kann auch die Steuereinrichtung 28 in ein Computersystem integriert sein und die Leitungen 26 über geeignete Schnittstellen angeschlossen sein. Ferner kann die Steuereinrichtung 28 noch verschiedene Sensorsignale, wie anhand von Fig. 3 erläutert werden wird verarbeiten. Darüber hinaus kann sie von den Linearantrieben 14, 16, 18 und/oder deren Servomotoren 20, 22, 24 Positionssignale erhalten, um eine genaue Lageregelung des Kolbens 10 in dem Zylinder 12 für jede Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6 vornehmen zu können.

[0025] Durch die Linearantriebe 2, 4, 6 ist es möglich, den Kolben 10 sehr präzise im Zylinder 12 zu verfahren. Dadurch kann das Todvolumen bzw. der schädliche Raum im Zylinder verringert werden und der Kolben 10 kann weiter als bei herkömmlichen Systemen zu der axialen Endwandung des Zylinders 12 hin verfahren werden, idealerweise nahezu vollständig bis an die Wandung heran. Dadurch kann die volumetrische Effizienz des Systems gesteigert werden. Ferner lässt sich die Verfahrgeschwindigkeit des Kolbens 10 von der Steuereinrichtung 28 genau vorgeben und steuern bzw. regeln. Dabei wird die Verfahrgeschwindigkeit bevorzugt langsam gewählt, bevorzugt kleiner als 2, weiter bevorzugt kleiner als 1 m/s. Dies führt zu geringeren Vibrationen und, zu geringem Verschleiß des Systems.

[0026] Über die Steuereinrichtung 28 können dem Kompressor bestimmte Sollwerte vorgegeben werden, insbesondere der gewünschte Ausgangsdruck an der Austrittsöffnung 40 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6. Auch ein gewünschter Volumenstrom kann voreingestellt werden. Abhängig von diesen Größen steuert die Steuereinrichtung 28 die drei Linearantriebe 14, 16, 18 über eine Steuerung bzw. Regelung der Servomotoren 20, 22, 24 individuell an, sodass die Kolben 10 der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 jeweils einen gewünschten Hub mit einer gewünschten Verfahrgeschwindigkeit ausführen. Dabei kann das Stufendruckverhältnis für jede Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6, d. h. die Druckdifferenz zwischen Gaseinlass 30 und Austrittsöffnung 32 der ersten Kolben-Zylinder-Einheit 2, die Druckdifferenz zwischen der Eintrittsöffnung 34 und der Austrittsöffnung 36 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 und die Druckdifferenz zwischen der Eintrittsöffnung 38 und der Austrittsöffnung 40 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 von der Steuereinrichtung individuell über eine Veränderung des Hubes des zugehörigen Kolbens 10 durch entsprechende Regelung des Linearantriebes 14, 16 und 18 eingestellt. Die Verfahrgeschwindigkeit wird entsprechend von der Steuereinrichtung 28 ebenfalls angepasst, um sicher zu stellen, dass alle drei Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, und 6 mit derselben Frequenz arbeiten, d. h. auch bei unterschiedlich langem Hub die gleiche Verfahrzeit zwischen oberem und unterem Totpunkt benötigen. Durch diese Variationen des individuellen Hubes und der indi-

viduellen Verfahrgeschwindigkeit jeder einzelnen Kolben-Zylinder-Einheit 2, 4, 6 über die Steuereinheit 28 sind somit verschiedene Stufendruckverhältnisse und insbesondere unterschiedliche Gesamtverdichtungen bei verschiedenen Volumenströmen mit dem erfindungsgemäßen Kolbenkompressor reaalisierbar, ohne bauliche Veränderungen an dem Kompressor vornehmen zu müssen.

[0027] Bei der in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform sind in den Leitungen 33 und 37 zwischen der ersten Kolben-Zylinder-Einheit 2 und der Kolben-Zylinder-Einheit 4 sowie zwischen der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 und der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 Umschaltventile 46 und 48 angeordnet. Diese ermöglichen es, einzelne Stufen des Kompressors ganz abzuschalten. So kann das Umschaltventil 46 den Strömungsweg ausgangsseitig der ersten Kolben-Zylinder-Einheit 2 zwischen der Eintrittsöffnung 34 und der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 und einer Ausgangsleitung 50 umschalten. Die Ausgangsleitung 50 ist im gezeigten Beispiel mit der Druckleitung 42 verbunden, es ist jedoch auch denkbar, dass die Druckleitung 42 und die Ausgangsleitung 50 als eine gemeinsame Ausgangsleitung ausgebildet werden. Wenn das Umschaltventil 46 so geschaltet ist, dass der Strömungsweg zu der Eintrittsöffnung 34 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 läuft, wird das in der ersten Stufe komprimierte Gas somit der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 als zweite Stufe zugeführt, um dort weiter verdichtet zu werden. Wenn das Umschaltventil 46 zu der Ausgangsleitung 50 umgeschaltet ist, wird das aus der Austrittsöffnung 32 austretende Gas nicht mehr zu der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4 sondern direkt in die Druckleitung 42 geleitet. Die Verdichtung erfolgt bei dieser Einstellung dann nur durch die erste Kolben-Zylinder-Einheit 2, die zweite Kolben-Zylinder-Einheit 4 und die dritte Kolben-Zylinder-Einheit 6 sind somit abgeschaltet. Dabei können aufgrund der individuellen Ansteuerung auch die zugehörigen Antriebe in Form der Servomotoren 22 und 24 abgeschaltet werden, sodass der Energieverbrauch reduziert werden kann. Das zweite Umschaltventil 48 funktioniert in gleicher Weise. Wenn dieses so geschaltet wird, dass die Strömung ausgangsseitig der Austrittsöffnung 36 in die Ausgangsleitung 50 gelenkt wird, wird somit kein Gas mehr zu der Eintrittsöffnung 38 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 geleitet und diese ist außer Funktion. In diesem Zustand arbeitet der Kompressor als zweistufiger Kompressor mit den Kolben-Zylinder-Einheiten 2 und 4.

[0028] Die Umschaltventile 46 und 48 können jedoch noch eine weitere Betriebsart ermöglichen, wenn nämlich beide Umschaltventile 46 und 48 so geschaltet werden, dass die aus den Austrittsöffnungen 32 und 36 austretende Gasströmung direkt in die Ausgangsleitung 50 geleitet wird. Wenn die Umschaltventile 46 und 48 dabei gleichzeitig einen zusätzlichen Strömungseingang für die Eintrittsöffnungen 34 und 38 öffnen, kann der gezeigte Kolbenkompressor somit alternativ auch als dreiflutiger Kompressor eingesetzt werden, bei welchem die drei Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 parallel arbeiten. Auch eine Funktion als zweiflutiger Kompressor ist denkbar, wenn in dieser Betriebsart eine der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 durch Abschalten des Servomotors 20, 22, bzw. 24 außer Betrieb genommen wird. Anstelle den zusätzlichem Gaseintritt auch durch die Umschaltventile 46 und 48 zu öffnen, können hierzu separate Ventile vorgesehen sein.

[0029] Fig. 2 zeigt nun eine Anordnung, welche im Wesentlichen der Anordnung gemäß Fig. 1 entspricht. Dort sind die drei Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, und 6 jedoch jeweils doppelhubig ausgebildet, d. h. die Kolben 10 wirken sowohl im Hin- als auch im Rückhub. Darüber hinaus sind zwischen den Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, und 6 bzw. ausgangsseitig der Kolben-Zylinder-Einheit 6 jeweils Zwischenkühler 52, 54 und 56 angeordnet. Der Zwischenkühler 52 ist in der Leitung 33 zwischen den Kolben-Zylinder-Einheiten 2 und 4, der Zwischenkühler 44 in der Leitung 37 zwischen den Kolben-Zylinder-Einheiten 4 und 6 und der dritte Zwischenkühler 56 ist ausgangsseitig der Austrittsöffnung 40 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6 angeordnet. Die Zwischenkühler können in bekannter Weise als Luft- oder Wasserkühler ausgebildet sein. Aufgrund des doppelhubigen Aufbaus weist die erste Kolben-Zylinder-Einheit zwei mit dem Gaseinlass 30 verbundene Eintrittsöffnungen 58 und entsprechend zwei Austrittsöffnungen 32 auf, welche mit der Leitung 33 und dem in dieser angeordneten Zwischenkühler 52 verbunden sind. Die Leitung 33 führt dann zu zwei Eintrittsöffnungen 34 der zweiten Kolben-Zylinder-Einheit 4. Die zweite Kolben-Zylinder-Einheit 4 weist entsprechend zwei Austrittsöffnungen 36 auf, welche mit der Leitung 37 und dem in dieser gelegenen Zwischenkühler 54 verbunden sind. Die Leitung 37 führt ausgangsseitig des Zwischenkühlers 54 zu den zwei Eintrittsöffnungen 38 der dritten Kolben-Zylinder-Einheit 6. Die dritte Kolben-Zylinder-Einheit 6 weist entsprechend zwei Austrittsöffnungen 40 auf, welche zu dem Zwischenkühler 56 führen, welcher ausgangsseitig mit der Druckleitung 42 verbunden ist. Die Funktionsweise des Kolbenkompressors gemäß Fig. 2 entspricht im Übrigen der oben beschriebenen Funktionsweise des Kolbenkompressors gemäß Fig. 1, nur, dass er doppelhubig arbeitet. Es ist zu verstehen, dass auch die Umschaltventile 46 und 48 mit der Verbindung zu der Ausgangsleitung 50 entsprechend bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 in den Leitungen 33 und 37 angeordnet werden könnten. Diese Umschaltventile würde dann zweckmäßigerweise ausgangsseitig der Zwischenkühler 50 und 54 angeordnet.

[0030] Fig. 3 zeigt noch einmal schematisch die Strömungswege bei einem Kolbenkompressor gemäß Fig. 2. Zur Vereinfachung sind die Größenunterschiede zwischen dem Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4 und 6 in Fig. 3 nicht dargestellt. Auch die Zwischenkühler sind in Fig. 3 nicht dargestellt, wobei zu verstehen ist, dass ein doppelhubiger dreistufiger Kompressor wie er in Fig. 2 gezeigt ist auch ohne Zwischenkühler ausgebildet werden

könnte. Alternativ wäre es auch möglich, bei dem Kompressor gemäß Fig. 1 entsprechende Zwischenkühler vorzusehen.

[0031] In Fig. 3 ist zusätzlich dargestellt, dass in dem System eine Vielzahl von Temperatursensoren T und Drucksensoren P vorgesehen ist. Diese Drucksensoren sind ein- und ausgangsseitig der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, und 6 vorgesehen um Temperatur und Druck am Gaseinlass 30, in der Leitung 33, der Leitung 37 sowie der Druckleitung 42 erfassen zu können. Darüber hinaus sind auch noch Temperatursensoren an jedem Ausgang der Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, und 6 vorgesehen, sodass die Temperatur des beim Hinhub des Kolbens 10 verdichteten Gases unabhängig von der Temperatur des beim Rückhub des Kolbens 10 verdichteten Gases erfasst werden kann. Die Ausgangssignale der Temperatursensoren T und der Drucksensoren P werden über geeignete Signalleitungen oder andere geeignete Signalübertragungswege ebenfalls der Steuereinrichtung 28 zugeführt, welche diese als Ist-Werte bei der Regelung der Linearantriebe 14, 16, 18 bzw. deren Servomotoren 20, 22, 24 berücksichtigt. In dem Fall, dass Zwischenkühler 52, 54, 56 vorgesehen sind, ist es auch denkbar, dass die Kühlleistung der Zwischenkühler von der Steuereinrichtung 28 veränderbar ist, beispielsweise durch Anpassung der Lüfterdrehzahl der Kühler. So kann die Kühlleistung an die erfassten Ist-Werte der Temperatur ausgangsseitig der einzelnen Stufen 2, 4, 6 angepasst werden.

[0032] Neben den bereits genannten Vorteilen sind die Kolben-Zylinder-Einheiten 2, 4, 6 in den gezeigten Beispielen vorzugsweise trockenlaufend ausgebildet, sodass auf eine Schmierung verzichtet werden kann. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine Verunreinigung des zu fördernden Gases mit Schmiermittel verhindert werden muss. Die Linearantriebe 14, 16, 18 können vorzugsweise lebensdauergeschmiert sein, sodass auch hier keine laufende Schmierung im Betrieb erforderlich ist. Beispielsweise können die Linearantriebe 14, 16, 18 als Spindeltriebe, insbesondere als Kugelumlaufspindein ausgebildet sein.

Bezugszeichenliste

[0033]

2, 4, 6	- Kolben-Zylinder-Einheiten
8	- Zylinder
10	- Kolben
12	- Kolbenstange
14, 16, 18	- Linearantriebe
20, 22, 24	- Servomotoren
26	- Leitungen
28	- Steuereinrichtung
30	- Gaseinlass
32	- Austrittsöffnung
33	- Leitung
34	- Eintrittsöffnung
36	- Austrittsöffnung
37	- Leitung
38	- Eintrittsöffnung
40	- Austrittsöffnung
42	- Druckleitung
44	- Anzeige- und Eingabeeinrichtung
46, 48	- Umschaltventile
50	- Ausgangsleitung
52, 54, 56	- Zwischenkühler
58	- Eintrittsöffnung
P	- Drucksensor
T	- Temperatursensor

Patentansprüche

1. Mehrstufiger Kolbenkompressor mit zumindest zwei Kolben-ZylinderEinheiten (2, 4, 6), **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Kolben-Zylinder-Einheit einen separaten elektrischen Linearantrieb (14, 16, 18) zur Bewegung des Kolbens aufweist, und dass eine Steuereinrichtung (28) vorgesehen ist, welche derart ausgestaltet ist, dass die Linearantriebe (14, 16, 18) individuell in Geschwindigkeit und Hub steuerbar sind.

2. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (28) derart ausgebildet ist, dass durch individuelle Steuerung der Linearantriebe (14, 16. 18) der zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) das Stufendruckverhältnis der Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) veränderbar ist.

3. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) derart ausgebildet sind, dass ihre Zylinder (12) unterschiedlich große Innenquerschnitte aufweisen.

4. Mehrstufiger Kolbenkompressor, nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Linearantriebe (14, 16, 18) jeweils einen drehenden Antriebsmotor (20, 22, 24) und einen Spindeltrieb aufweisen, welcher die Drehbewegung des Antriebsmotors (20, 22, 24) in eine Linearbewegung für den Kolben (10) umsetzt.

5. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) trockenlaufend ausgebildet sind.

6. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den zumindest zwei Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) ein Zwischenkühler (52, 54, 56) angeordnet ist.

7. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kolben-Zylinder-Einheiten (2, 4, 6) jeweils doppelhubig ausgebildet sind.

8. Mehrstufiger Kolbenkompressor nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ausgangseitig zumindest einer ersten Kolben-Zylinder-Einheit (2, 4) ein Umschaltventil (46, 48) angeordnet ist, mittels welchem der ausgangsseitige Strömungsweg zwischen einer nachfolgenden zweiten Kolben-Zylinder-Einheit (4, 6) und einer Ausgangsleitung (50) umschaltbar ist.

Claims

1. A multistage piston compressor with at least two piston-cylinder units (2, 4, 6), **characterised in that** each piston-cylinder unit comprises a separate electric linear drive (14, 16, 18) for the movement of the piston, and that a control device (28) is provided, which is designed in a manner such that the linear drives (14, 16, 18) are individually controllable in speed and stroke.

2. A multistage piston compressor according to claim 1, **characterised in that** the control device (28) is designed in a manner such that the stage pressure ratio of the piston-cylinder units (2, 4, 6) is changeable by way of the individual control of the linear drives (14, 16, 18) of the at least two piston-cylinder units (2, 4, 6).

3. A multistage piston compressor according to claim 1 or 2, **characterised in that** the at least two piston-cylinder units (2, 4, 6) are designed in a manner such that their cylinders (12) have differently large inner cross sections.

4. A multistage piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** the linear drives (14, 16, 18) in each case comprise a rotating drive motor (20, 22, 24) and a spindle drive which converts the rotational movement of the drive motor (20, 22, 24) into a linear movement for the piston (10).

5. A multistage piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** the piston-cylinder units (2, 4, 6) are designed in a dry-running manner.

6. A multistage piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** an intermediate cooler (52, 54, 56) is arranged between the at least two piston-cylinder units (2, 4, 6).

7. A multistage piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** the piston-cylinder units (2, 4, 6) are each designed in a double-stroke manner.

8. A multistage piston compressor according to one of the preceding claims, **characterised in that** a switch-over valve (46, 48) is arranged at the exit side of at least one first cylinder-piston unit (2, 4), by way of which valve the exit side flow part can be switched between a subsequent second piston-cylinder unit (4, 6) and an exit conduit (50).

Revendications

1. Compresseur à pistons multi-étagé, comprenant au moins deux unités piston-cylindre (2, 4, 6), **caractérisé en ce que** chaque unité piston-cylindre présente un entraînement linéaire électrique séparé (14, 16, 18) pour le déplacement du piston, et **en ce qu'**il est prévu une unité de commande (28) qui est conçue de telle sorte que les entraînements linéaires (14, 16, 18) peuvent être commandés individuellement en vitesse et en course.

2. Compresseur à pistons multi-étagé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (28) est conçu de telle sorte qu'on peut faire varier le rapport de pression des étages des unités piston-cylindre (2, 4, 6) par la commande individuelle des entraînements linéaires (14, 16, 18) desdites unités piston-cylindre (2, 4, 6), au moins au nombre de deux.

3. Compresseur à pistons multi-étagé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** lesdites unités piston-cylindre (2, 4, 6), au moins au nombre de deux, sont conçues de telle sorte que leurs cylindres (12) présentent des sections intérieures de dimension différente.

4. Compresseur à pistons multi-étagé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les entraînements linéaires (14, 16, 18) présentent chacun un moteur d'entraînement rotatif (20, 22, 24) et un entraînement à vis qui transforme le mouvement rotatif du moteur d'entraînement (20, 22, 24) en un mouvement linéaire pour le piston (10).

5. Compresseur à pistons multi-étagé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les unités piston-cylindre (2, 4, 6) sont de constitution travaillant à sec.

6. Compresseur à pistons multi-étagé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**un refroidisseur intermédiaire (52, 54, 56) est dis-

posé entre lesdites unités piston-cylindre (2, 4, 6), au moins au nombre de deux.

7. Compresseur à pistons multi-étagé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les unités piston-cylindre (2, 4, 6) sont chacun à double course.

8. Compresseur à pistons multi-étagé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, sur le côté de sortie d'au moins une première unité piston-cylindre (2, 4), est disposée une soupape d'inversion (46, 48) au moyen de laquelle le trajet d'écoulement côté sortie peut être inversé entre une seconde unité piston-cylindre suivante (4, 6) et une conduite de sortie (50).

Fig.1

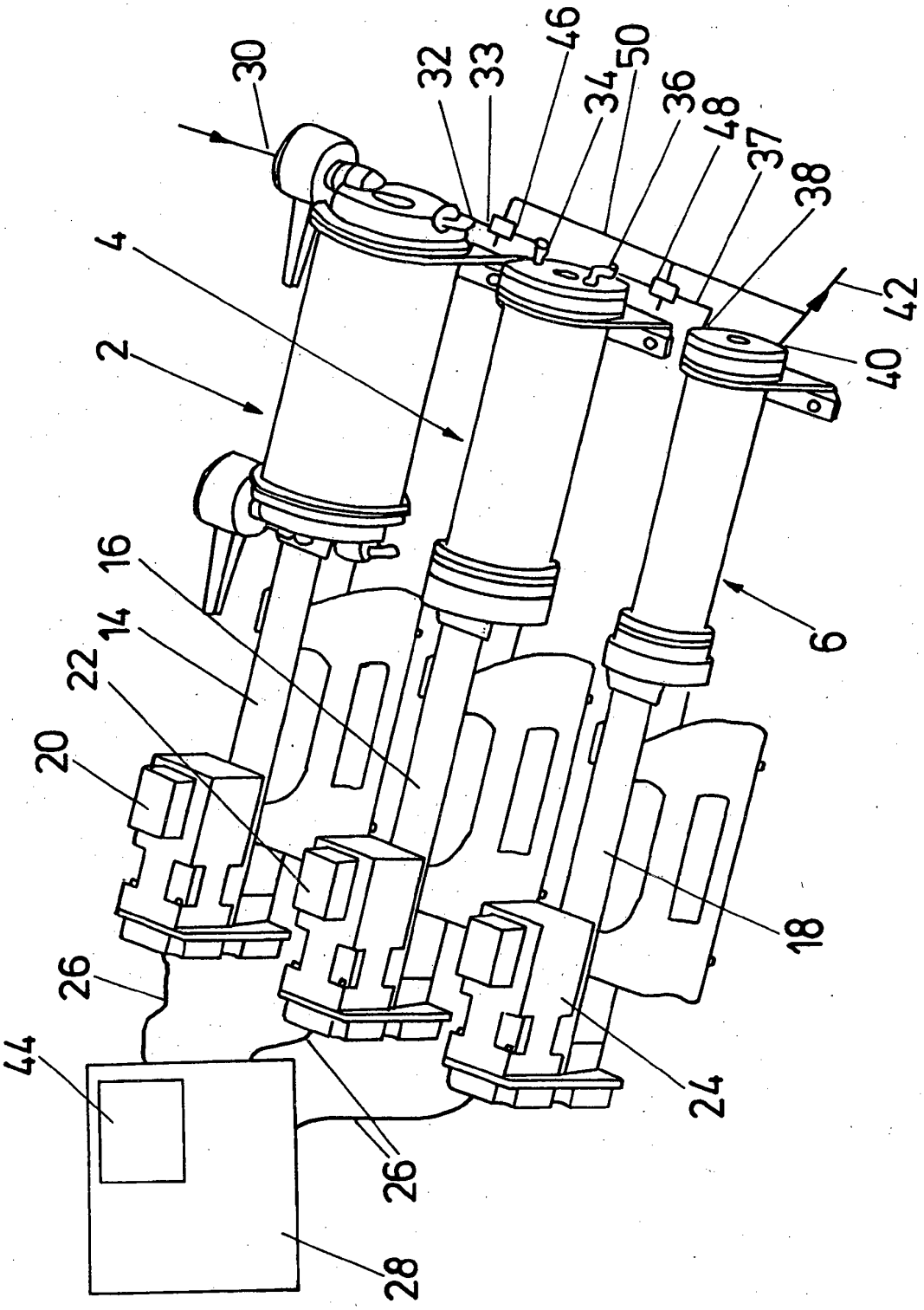


Fig.2

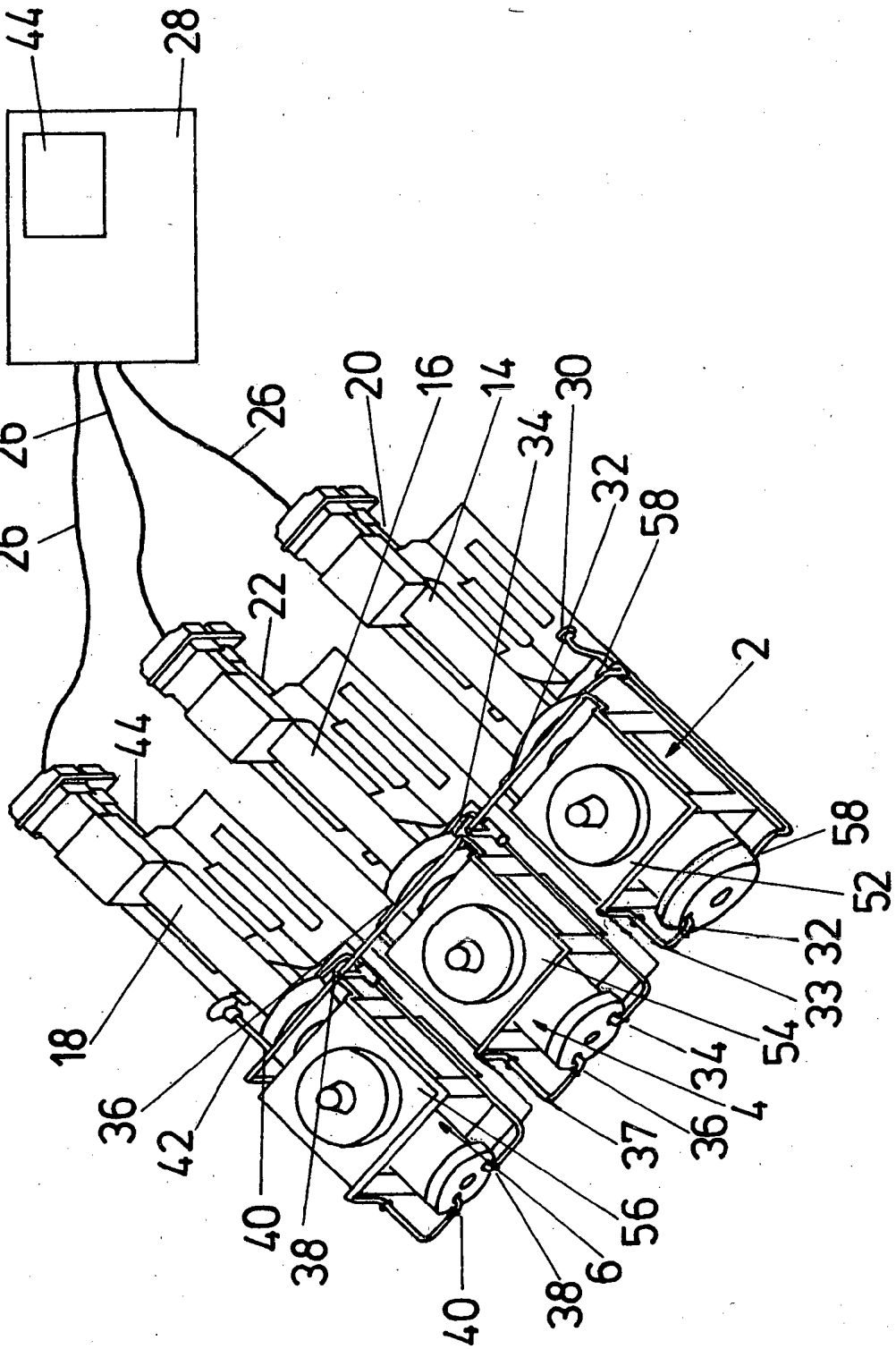

44
28
26
26
26
20
16
14
30
34
32
58
22
2
44
58
52
32
33
54
34
4
36
37
18
36
42
40
38
56
6
38
40

Fig.3

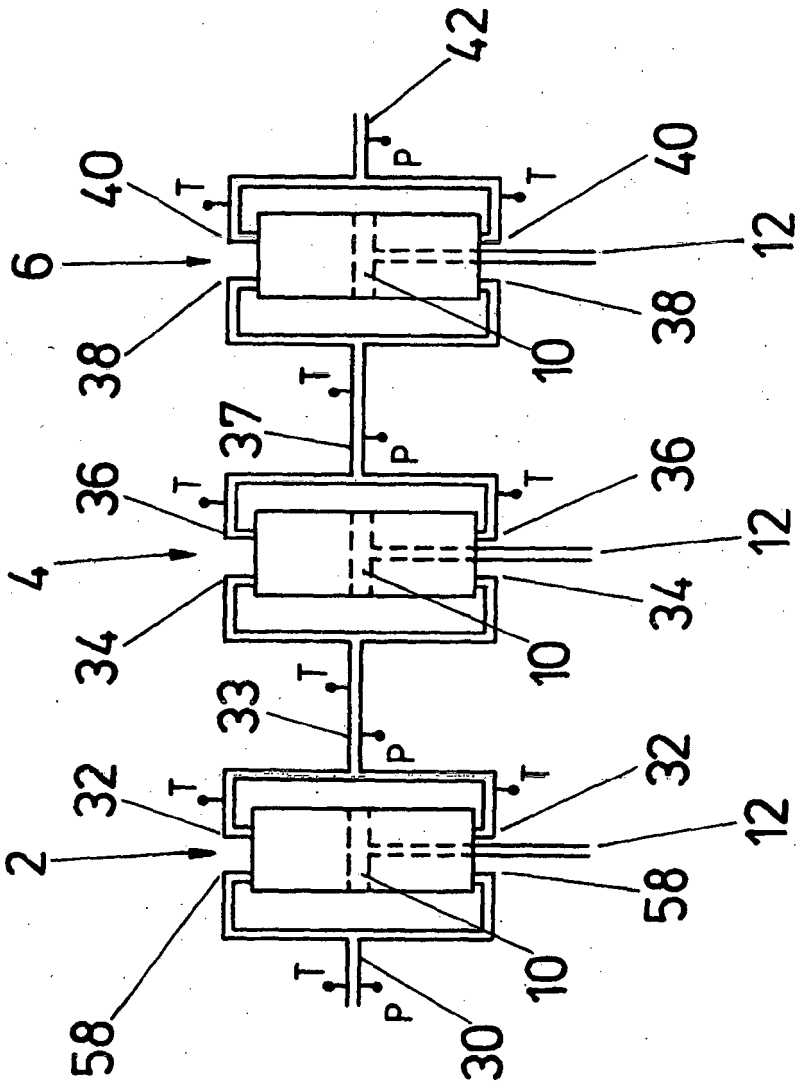
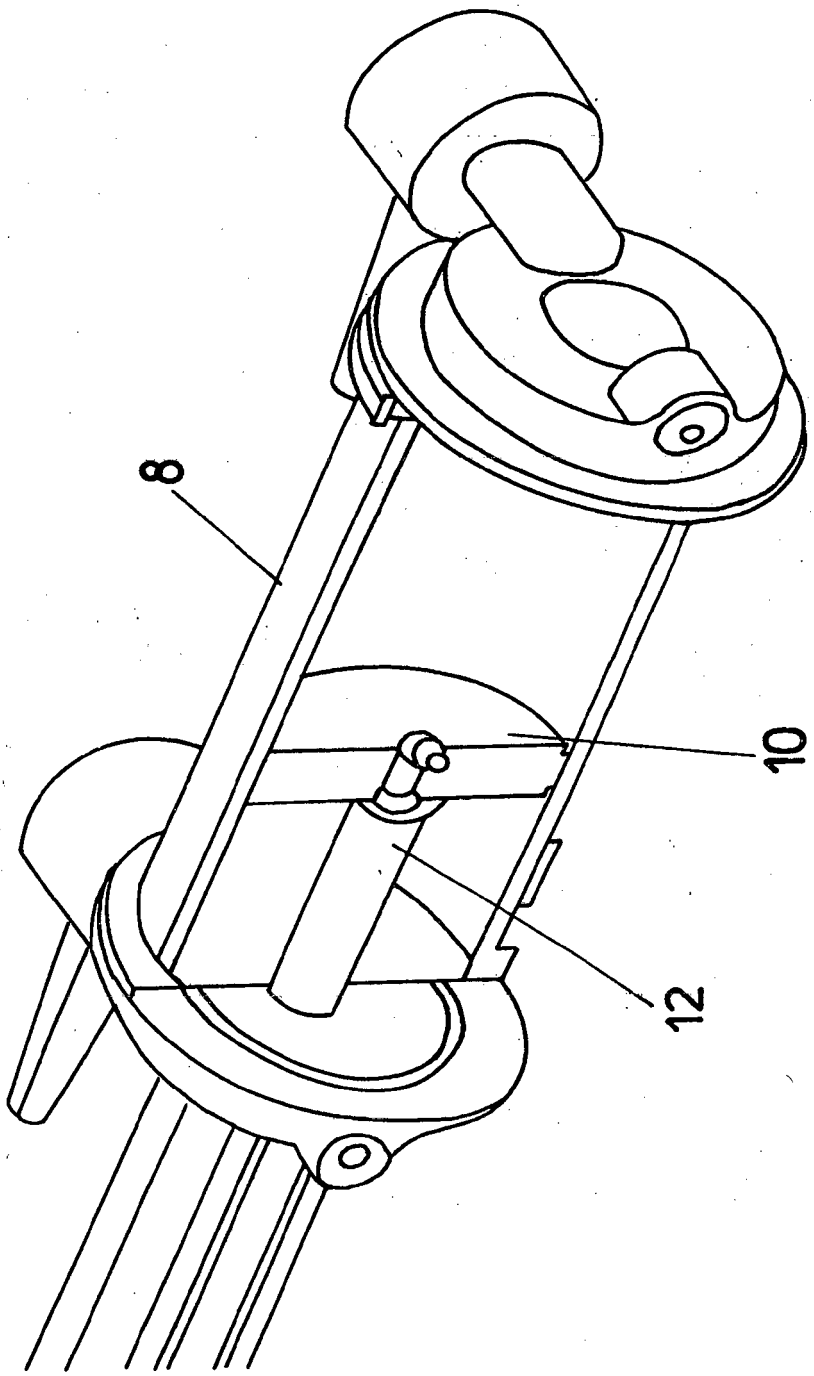


Fig.4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 1228023 **[0003]**
- US 5863186 A **[0004]**