



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**16.11.2022 Patentblatt 2022/46**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F04B 35/01 (2006.01) F04B 39/08 (2006.01)**  
**F04B 39/10 (2006.01) F04B 49/03 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **22172088.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F04B 49/03; F04B 35/01; F04B 39/08;**  
**F04B 39/102; F04B 39/1053**

(22) Anmeldetag: **06.05.2022**

(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**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder:  
• **Kornfeld, Matthias**  
**1220 Wien (AT)**  
• **Stachel, Klaus**  
**1220 Wien (AT)**  
• **Wang, Lili**  
**1220 Wien (AT)**

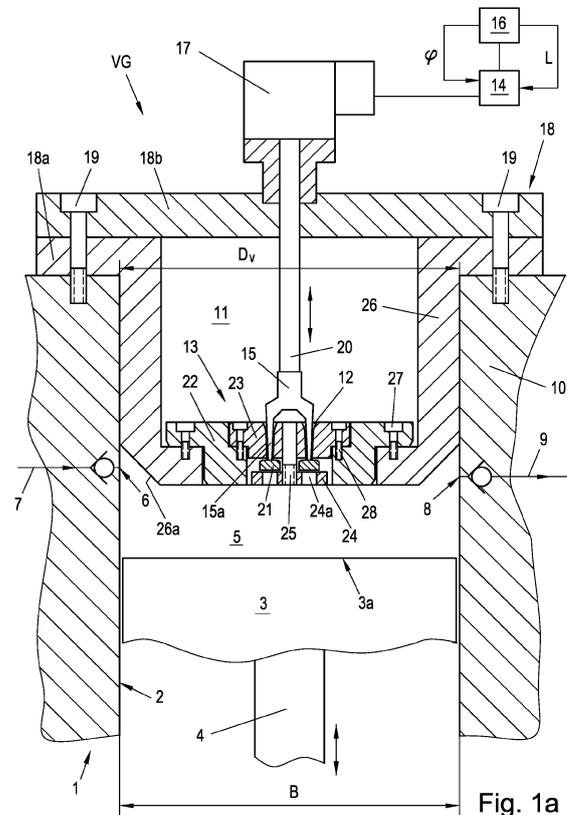
(30) Priorität: **10.05.2021 AT 503592021**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Pinter & Weiss OG**  
**Prinz-Eugen-Straße 70**  
**1040 Wien (AT)**

(71) Anmelder: **Hoerbiger Wien GmbH**  
**1220 Wien (AT)**

(54) **KOLBENKOMPRESSOR MIT VARIABLER KAPAZITÄTSREGELUNG**

(57) Um einen Kolbenkompressor (1) mit einem, über eine Überströmöffnung (12) mit dem Kompressionsraum (5) verbundenen Zuschaltraum (11), einem Zuschaltventil (13) zum Öffnen und Schließen der Überströmöffnung (12) und mit einer Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) zum Steuern des Zuschaltventils (13) bereitzustellen, der auch bei großen Hubvolumina eine präzise und schnelle Kapazitätsregelung ermöglicht, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Zuschaltventil (13) als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, das die Überströmöffnung (12) in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum (11) und einem Druck im Kompressionsraum (5) selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil (13) selbsttätig öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum (11) größer ist, als der Druck im Kompressionsraum (5), dass ein Abhebegreifer (15) vorgesehen ist, der von einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator (17) betätigbar ist, um das Zuschaltventil (13) unabhängig vom Druckverhältnis in einem geöffneten Zustand zu halten und dass der elektromagnetische Aktuator (17) von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) zur Betätigung ansteuerbar ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Kolbenkompressor mit einem Kolben, der in einem Zylinder hin und her bewegbar ist, um einen Kompressionsraum im Zylinder auszubilden, wobei am Kompressionsraum zumindest ein Saugventil und zumindest ein Druckventil vorgesehen sind, wobei zumindest ein Zuschaltraum mit einem festgelegten Zuschaltraumvolumen vorgesehen ist, der über eine Überströmöffnung mit dem Kompressionsraum verbunden ist, wobei ein Zuschaltventil zum Öffnen und Schließen der Überströmöffnung und eine Zuschaltventil-Steuerungseinheit zum Ansteuern des Zuschaltventils vorgesehen sind. Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Kolbenkompressors sowie eine Ventilbaugruppe für einen Kolbenkompressor.

**[0002]** Die Regelung der Kapazität bzw. der Fördermenge eines Kolbenkompressors mittels Zuschaltraum ist ein altbewährtes Prinzip, das vorwiegend bei Kolbenkompressoren mit konstanter Drehzahl zum Einsatz kommt. Durch den Zuschaltraum kann der Schadraum vergrößert werden, sodass die Druckanstiegs- und Abnahmerate des Kompressors verflacht und die Menge des geförderten Mediums reduziert werden kann. Diese Form der Regelung ist kaum verlustbehaftet und wird insbesondere bei mittleren und großen Kompressoren auch gerne verwendet, um den Betriebspunkt des Kompressors auf dessen Antrieb abzustimmen. Die Art der Veränderung des Volumens des Schadraums mittels Zuschaltraum kann prinzipiell auf zwei Arten erfolgen. Einerseits können ein oder mehrere Zuschalträume mit unveränderlichem Volumen vorgesehen sein, die über ein oder mehrere Ventile seriell oder parallel zuschaltbar sind. Andererseits kann ein Zuschaltraum mit einem variablen Volumen vorgesehen sein, wobei das Volumen durch Verstellung eines Kolbens veränderbar ist.

**[0003]** Eine stufenweise Zuschaltung mehrerer Zuschalträume mit unterschiedlichen Volumina ist beispielsweise aus CN 111188759 A oder US 5,735,675 A bekannt. Dabei werden über hydraulische oder pneumatische Aktuatoren einzelne Teilvolumina des Zuschaltraums über das Öffnen eines Ventils dem Kompressionsraum zugeschaltet. Bauartbedingt erfolgt das Zuschalten im Vergleich zur Kompressordrehzahl relativ langsam. Das Zuschaltventil bleibt dabei über einen längeren Zeitraum geöffnet, sodass der zugehörige Zuschaltraum mit dem Kompressionsvolumen verbunden bleibt. Diese Art der Regelung ermöglicht es, die Menge des geförderten Mediums nur in diskreten Stufen zu ändern, eine stufenlose und präzise Mengenregelung ist nicht möglich.

**[0004]** Aus GB 487916 A sind auch Bauformen bekannt, bei denen das Zuschaltventil über eine mechanische Feder oder einen pneumatisch oder hydraulisch einstellbaren Schließdruck geschlossen gehalten werden kann. Diese Ventile öffnen selbsttätig sobald der Druck im Kompressionsraum den Schließdruck am Zu-

schaltventil übersteigt. Wenn das Zuschaltventil öffnet, wird das Zuschaltraumvolumen während des Kompressionsvorgangs zugeschaltet und ab diesem Zeitpunkt wird die Druckanstiegskurve abgeflacht. Durch eine Anpassung des Schließdrucks und damit des Zuschaltzeitpunkts des Zuschaltraums kann eine einfache stufenlose Steuerung der geförderten Gasmenge erreicht werden. Diese Bauform erlaubt jedoch auch nur eine langsame Anpassung des Zuschaltzeitpunkts im Vergleich zur Kompressordrehzahl. Aufgrund von Kompressibilitätseffekten im Bereich der pneumatischen oder hydraulischen Schließdruckaufbringung sowie Reibungseffekten an den Ventildichtelementen ist der Öffnungszeitpunkt des Ventils und damit die geförderte Gasmenge stark von diesen Effekten abhängig. Eine präzise Steuerung der geförderten Gasmenge ist bei dieser Bauform nur eingeschränkt möglich.

**[0005]** Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung eine verbesserte stufenlose Kapazitätsregelung mittels Zuschaltraum für einen Kolbenkompressor bereitzustellen, mit der eine präzisere und schnellere Anpassung der Fördermenge auch bei großen Kolbenkompressoren ermöglicht wird.

**[0006]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Zuschaltventil als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, das die Überströmöffnung in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum und einem Druck im Kompressionsraum selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil selbsttätig öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum größer ist, als der Druck im Kompressionsraum, dass ein Abhebegreifer vorgesehen ist, der von einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator betätigbar ist, um das Zuschaltventil unabhängig vom Druckverhältnis in einem geöffneten Zustand zu halten und dass der elektromagnetische Aktuator von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit zur Betätigung ansteuerbar ist. Dadurch ist es möglich, innerhalb sehr kurzer Zeit sehr präzise auf Laständerungen des Kompressors reagieren zu können, insbesondere innerhalb eines Kompressionszyklus bzw. einer Umdrehung der Kurbelwelle, was bisher aufgrund der verwendeten Sitzventile und insbesondere aufgrund der relativ langsamen pneumatischen oder ausschließlich hydraulischen Betätigung nicht möglich war.

**[0007]** Vorzugsweise beträgt eine Strömungsquerschnittsfläche der Überströmöffnung im geöffneten Zustand des Zuschaltventils zumindest 5% einer Bohrungsquerschnittsfläche einer Bohrung des Zylinders, vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt zumindest 15%. Der Bohrungsdurchmesser der Bohrung des Zylinders beträgt dabei vorzugsweise zumindest 100mm, vorzugsweise zumindest 500mm, besonders bevorzugt zumindest 800mm. Durch große Strömungsquerschnitte können die Drosselverluste verringert werden und die erforderliche Kraft zum Offenhalten des Ventils kann verringert werden. Der Vorteil des Ringventils vergrößert sich dabei besonders mit der Baugröße des

Kompressors, insbesondere des Bohrungsdurchmessers.

**[0008]** Der Aktuator weist vorzugsweise eine Schaltfrequenz von zumindest 5Hz auf, vorzugsweise zumindest 10Hz, besonders bevorzugt zumindest 20Hz. Vorteilhafterweise wird als Aktuator ein elektromagnetischer Aktuator oder ein elektrohydraulischer Aktuator vorgesehen. Dadurch können sehr präzise Schließzeiten des Ventils realisiert werden. Elektromagnetische Aktuatoren und elektrohydraulische Aktuatoren sind dafür besonders gut geeignet.

**[0009]** Es ist vorteilhaft, wenn auch das Saugventil und/oder das Druckventil als selbsttätiges Ventil ausgebildet ist, vorzugsweise als selbsttätiges Ringventil, weil dadurch keine Aktuatorik zur Betätigung nötig ist. Das Saugventil und/oder das Druckventil sind dabei vorzugsweise an einer Umfangsfläche des Zylinders im Kompressionsraum angeordnet und/oder das Zuschaltventil ist an einer einem Kolbenboden des Kolbens gegenüberliegenden Stirnseite des Zylinders des Kolbenkompressors angeordnet. Das ist vorteilhaft, weil stirnseitig viel Platz für das Zuschaltventil vorhanden ist. Zudem kann dadurch eine einfache Montage und Nachrüstung des Zuschaltventils ermöglicht werden.

**[0010]** Vorzugsweise weist das Zuschaltventil mehrere konzentrisch angeordnete, zumindest abschnittsweise ringförmige Überströmöffnungen auf, wobei jeder Überströmöffnung ein Dichtelement zugeordnet ist und wobei der Abhebegreifer durch die ringförmigen Überströmöffnungen auf die Dichtelemente wirkt. Dadurch kann der Strömungsquerschnitt vergrößert und die Drosselkräfte verringert werden. Dabei kann es vorteilhaft sein, wenn mehrere ringförmige Dichtelemente über radiale Stege zu einer Dichtplatte verbunden sind, wodurch weniger einzelne Komponenten erforderlich sind, wodurch z.B. die Montage erleichtert wird.

**[0011]** Weiters kann es vorteilhaft sein, dass das Zuschaltventil ein Ventilgehäuse aufweist, in dem der Zuschaltraum vorgesehen ist, wobei der elektromagnetische Aktuator außerhalb des Ventilgehäuses angeordnet ist und über eine Übertragungsstange, die durch eine Wand des Ventilgehäuses in den Zuschaltraum ragt, mit dem Abhebegreifer verbunden ist. Dadurch kann der Aktuator vor den hohen Temperaturen und Drücken im Zuschaltraum geschützt werden und es ist eine einfache Anbindung an die Steuerungseinheit möglich.

**[0012]** Die Zuschaltventil-Steuerungseinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, das Zuschaltventil in Abhängigkeit eines Lastsignals und/oder in Abhängigkeit eines Kurbelwinkelsignals des Kolbenkompressors zu steuern. Dadurch kann der Zuschaltraum in vorteilhafter Weise in Abhängigkeit des Betriebszustands des Kolbenkompressors zu und abgeschaltet werden.

**[0013]** Die Aufgabe wird zudem mit einer Ventilbaugruppe dadurch gelöst, dass das Zuschaltventil als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, das die Überströmöffnung in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum und einem Um-

gebungsdruck selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil selbsttätig öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum größer ist, als der Umgebungsdruck und dass ein Abhebegreifer vorgesehen ist, der von einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator betätigbar ist, um das Zuschaltventil unabhängig vom Druckverhältnis in einem geöffneten Zustand zu halten, wobei der Aktuator von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit zur Betätigung ansteuerbar ist.

**[0014]** Zudem wird die Aufgabe mit einem Verfahren dadurch gelöst, dass das Zuschaltventil in einem Öffnungspunkt im Expansionshub vor einem Öffnen des Saugventils selbsttätig öffnet, wenn ein Druck im Zuschaltraum größer ist als ein Druck im Kompressionsraum, wobei der Abhebegreifer aktiviert wird, um das Zuschaltventil unabhängig vom Druck im Zuschaltraum und dem Druck im Kompressionsraum im geöffneten Zustand zu halten und der Abhebegreifer nach dem Schließen des Saugventils zu einem bestimmten Zeitpunkt im Kompressionshub deaktiviert wird, sodass das Zuschaltventil in einem festgelegten Schließpunkt im Kompressionshub durch den relativ zum Druck im Zuschaltraum höheren Druck im Kompressionsraum selbsttätig schließt, wobei der Abhebegreifer vom Aktuator betätigt wird und der Aktuator von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit angesteuert wird.

**[0015]** Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1a bis 3d näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1a einen Zylinder eines Kolbenkompressors, an dem eine Ventilbaugruppe mit einem Zuschaltraum angeordnet ist,

Fig.1b einen Zylinder eines Kolbenkompressors mit einer Laubuchse und mit einer Ventilbaugruppe in einer alternativen Ausgestaltung,

Fig.2 ein p-V-Diagramm eines Kolbenkompressors mit verschiedenen Betriebspunkten der Kapazitätsregelung

Fig.3a-3d jeweils ein p-V-Diagramm eines Kolbenkompressors mit einem Betriebspunkt der Kapazitätsregelung.

**[0016]** In Fig.1a und Fig.1b ist jeweils ein Schnitt durch ein Kompressorgehäuse 10 eines Kolbenkompressors 1 im Bereich eines Zylinders 2 schematisch dargestellt. Da der Aufbau und die Funktionsweise eines Kolbenkompressors 1 hinlänglich bekannt sind wird an dieser Stelle nicht näher auf darauf eingegangen, sondern es werden nachfolgend die für die Erfindung relevanten Komponenten und deren Funktionsweise erläutert. Auch wenn hier beispielhaft lediglich ein Zylinder 2 dargestellt ist, ist es natürlich klar, dass der Kolbenkompressor 1 auch meh-

rere Zylinder 2 aufweisen kann. Im Zylinder 2 ist in bekannter Weise ein Kolben 3 angeordnet, der im Zylinder 2 hin- und her- bewegbar ist. Der Kolben 3 kann beispielsweise über eine lediglich angedeutete Kolbenstange 4 angetrieben werden, die in axialer Richtung oszilliert. Die Kolbenstange 4 kann ihrerseits bekanntermaßen von einer nicht dargestellten Schubstange über eine Kurbelwelle angetrieben werden.

**[0017]** Hierbei werden die Seitenkräfte von einem separaten Gelenk, dem sogenannten Kreuzkopf, aufgenommen, der über Gleitlager im Zylinder 2 oder Kurbelgehäuse gelagert ist. Dadurch führt die Kolbenstange 4 eine rein axiale Bewegung aus. Natürlich wäre aber auch ein direkter Antrieb des Kolbens mittels einer Schubstange möglich. Die Seitenkräfte werden hierbei vom Kolben 3 aufgenommen und am Zylinder 2 abgestützt. Die Art des Antriebs ist aber für die Erfindung aber nebensächlich und hängt im Wesentlichen von der Bauart, der Baugröße und von der Anwendung des Kolbenkompressors 1 ab. Die Kreuzkopf-Bauweise kommt beispielsweise bei doppeltwirkenden Kolbenkompressoren zum Einsatz. Die Ausführungsform in Fig.1b unterscheidet sich von Fig.1a dadurch, dass im Kompressorgehäuse 10 eine separate Laufbuchse 2a eingesetzt ist, die auch als Zylinder-Liner bekannt ist, und durch die konstruktive Ausführung der nachfolgend beschriebenen Ventilbaugruppe VG des Zuschaltventils 13. In Fig.1b bildet somit die Laufbuchse 2a den Zylinder 2 aus und der Kolben 3 wird innerhalb der Laufbuchse 2a bewegt.

**[0018]** In bekannter Weise wird im Zylinder 2 oberhalb eines Kolbenbodens 3a des Kolbens 3 ein Kompressionsraum 5 ausgebildet, in dem ein Kompressionsmedium wie z.B. Luft oder ein bestimmtes Gas durch die Bewegung des Kolbens 3 komprimiert wird. Das Kompressionsmedium kann über ein oder mehrere Saugventile 6 aus einer oder mehreren Saugleitungen 7 angesaugt werden und über ein oder mehrere Druckventile 8 einer oder mehrerer Druckleitungen 9 zugeführt werden. Je nach konstruktiver Ausführung des Kolbenkompressors 1 können ein oder mehrere Saugventile 6 und/oder ein oder mehrere Druckventile 8 beispielsweise so wie dargestellt am Umfang des Zylinders 2 angeordnet sein. Wenn am Kolbenkompressor 1 ein (nicht dargestellter) separater Zylinderkopf vorgesehen ist, dann wäre aber auch eine Anordnung des Saugventils 6 und/oder Druckventils 8 am Zylinderkopf des Kolbenkompressors 1 möglich. Der Kompressionsraum 5 wäre hierbei zwischen dem Kolbenboden 3a des Kolbens 3 und dem Zylinderkopf ausgebildet.

**[0019]** In Fig.1 sind das Saugventil 6 und das Druckventil 8 lediglich als schematische Rückschlagventile durch entsprechende Schaltzeichen angedeutet. Natürlich könnten aber auch ansteuerbare Ventile verwendet werden, die durch einen Aktuator (zwangs-)betätigbar sind, z.B. hydraulische, pneumatische oder elektromagnetisch betätigbare Ventile. Die konkrete konstruktive Ausgestaltung spielt für die Erfindung keine wesentliche Rolle und obliegt dem Fachmann. In vorteilhafter Weise

können das Saugventil 6 und/oder das Druckventil 8 als bekannte selbsttätige Ringventile ausgebildet sein. Das als Ringventil ausgebildete Saugventil 6 öffnet während eines Expansionshubs des Kolbens 3 selbsttätig in Abhängigkeit des Druckverhältnisses zwischen einem Druck in der Saugleitung 7 und einem relativ dazu niedrigeren Druck im Kompressionsraum 5 in Richtung des Kompressionsraums 5. Ggf. kann auch eine Vorspanneinrichtung, z.B. in Form von Federelementen, am Saugventil 6 vorgesehen sein, um eine Vorspannkraft zu erzeugen, durch die das Saugventil 6 in Richtung des geschlossenen Zustands vorgespannt wird. Dadurch kann das Öffnungs- bzw. Schließverhalten beeinflusst werden.

**[0020]** In analoger Weise öffnet das als Ringventil ausgebildete Druckventil 8 während eines Kompressionshubs des Kolbens 3 selbsttätig in Abhängigkeit des Druckverhältnisses zwischen einem Druck in der Druckleitung 9 und dem relativ dazu höheren Druck im Kompressionsraum 5 in Richtung der Druckleitung 9. Ggf. kann auch wiederum eine Vorspanneinrichtung, z.B. in Form von Federelementen, am Druckventil 8 vorgesehen sein, um eine Vorspannkraft zu erzeugen, durch die das Druckventil 8 in Richtung des geschlossenen Zustands vorgespannt wird. Je nach konkreter konstruktiver Ausführung des Kolbenkompressors 1 ergibt sich somit für jede Drehzahl des Kolbenkompressors 1 eine bestimmte konstante Fördermenge. Bei Großkompressoren, die meist mit konstanter Drehzahl betrieben werden, ist die Fördermenge daher im Wesentlichen konstant.

**[0021]** Oftmals ist es aber gewünscht, die Fördermenge trotz konstanter Drehzahl zu verändern. Wie eingangs erwähnt können dazu ein oder mehrere Zuschalträume mit konstantem oder variablem Zuschaltraumvolumen vorgesehen sein, die mit dem Kompressionsraum 5 selektiv verbunden werden können. Dadurch wird der Schadraum im Zylinder 2 vergrößert, wodurch der Druckanstieg bzw. -abfall im Kompressionsraum 5 abgeflacht werden kann, wie nachfolgend anhand Fig.2 noch näher erläutert wird. Im dargestellten Kolbenkompressor 1 ist ein einziger Zuschaltraum 11 mit einem unveränderlichen Zuschaltraumvolumen vorgesehen. Der Zuschaltraum 11 ist über zumindest eine Überströmöffnung 12 mit dem Kompressionsraum 5 verbunden. Weiters sind ein Zuschaltventil 13 zum Öffnen und Schließen der Überströmöffnung 12 und eine Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 zum Ansteuern des Zuschaltventils vorgesehen. Natürlich ist dies aber nur beispielhaft und nicht einschränkend zu verstehen. Grundsätzlich könnten beispielsweise auch mehrere parallele Zuschalträume 11 mit jeweils einem erfindungsgemäßen Zuschaltventil 13 vorgesehen sein oder auch mehrere, über Ventile seriell miteinander verbundene Zuschalträume 11 mit einem gemeinsamen erfindungsgemäßen Zuschaltventil 13 zum Kompressionsraum 5. Denkbar wäre auch, dass ein Zuschaltraum 11 mit einem erfindungsgemäßen Zuschaltventil 13 vorgesehen ist, dessen Zuschaltraumvolumen beispielsweise mittels eines Kolbens veränderbar

ist. Zum Verständnis der Erfindung ist das dargestellte Beispiel jedoch ausreichend.

**[0022]** Als Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 kann beispielsweise eine separate Einheit in Form einer geeigneten Hard- und/oder Software vorgesehen sein. Die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 kann z.B. von einer übergeordneten Kompressor-Steuerungseinheit 16 des Kolbenkompressors 1 angesteuert werden, könnte aber natürlich auch in diese integriert sein. Die Kompressor-Steuerungseinheit 16 kann beispielsweise ein Last-Signal L über den aktuellen Last-Zustand des Kolbenkompressors 1 an die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 übermitteln. Abhängig davon kann die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 einen bestimmten Betriebsmodus für die Kapazitätsregelung einstellen und den Schließpunkt SP und den Öffnungspunkt OP des Zuschaltventils 13 entsprechend in Abhängigkeit des Last-Signals L festlegen und ändern.

**[0023]** Als Last-Signal L kann beispielsweise eine Liefermenge (=geförderte Menge des komprimierten Kompressionsmediums), eine Stromaufnahme einer elektrischen Antriebsmaschine des Kolbenkompressors (=Antriebsmaschinenlast) oder ein Druck des komprimierten Kompressionsmediums verwendet werden, wobei bei mehrstufigen Kompressoren z.B. ein Zwischendruck zwischen zwei Kompressionsstufen verwendet werden kann. Um den Schließpunkt SP und den Öffnungspunkt OP des Zuschaltventils 13 dem Kompressionszyklus zuzuordnen zu können, kann die Kompressor-Steuerungseinheit 16 beispielsweise auch ein Kurbelwinkelsignal  $\varphi$  an die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 übermitteln. Das Kurbelwinkelsignal  $\varphi$  kann beispielsweise von einem Kurbelwinkelsensor des Kolbenkompressors 1 erfasst werden. Dadurch kann in vorteilhafter Weise ein geschlossener Regelkreis realisiert werden, sodass eine präzise Steuerung des Schließpunktes SP ermöglicht wird.

**[0024]** Gemäß der Erfindung ist das Zuschaltventil 13 als selbsttätiges Ringventil ausgebildet, welches die Überströmöffnung/en 12 in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum 11 und einem Druck im Kompressionsraum 5 selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil in Richtung des Kompressionsraums 5 öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum größer ist, als der Druck im Kompressionsraum 5. Zusätzlich ist ein Abhebegreifer 15 vorgesehen, der von einem geeigneten Aktuator 17 betätigbar ist. Der Abhebegreifer 15 ist dazu vorgesehen, das Zuschaltventil 13 nach dem selbsttätigen Öffnen in einem geöffneten Zustand zu halten, wie nachfolgend anhand Fig.2 noch im Detail erläutert wird. Der Aktuator 17 kann von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 (oder der Kompressor-Steuerungseinheit) angesteuert werden, um den Abhebegreifer 15 zu betätigen. Als geeigneter Aktuator 17 ist ein Aktuator mit hinreichend geringer Betätigungszeit (bzw. ausreichend hoher Schaltfrequenz) zu verstehen, der eine ausreichend große Betätigungskraft zum Offenhalten des Zuschaltventils 13 erzeugen

kann. Vorzugsweise wird als Aktuator 17 ein elektrohydraulischer Aktuator oder ein elektromagnetischer Aktuator vorgesehen. Elektromagnetische Aktuatoren haben den Vorteil, dass sie relativ geringe Betätigungszeiten bzw. hohe Schaltfrequenzen ermöglichen und dass keine Hydraulikflüssigkeit erforderlich ist. Elektrohydraulische Aktuatoren haben den Vorteil, dass relativ große Betätigungskräfte erzeugt werden können. Je nach Anforderungen kann der Fachmann einen geeigneten Aktuator 17 vorsehen. In der dargestellten Ausführungsform ist der Aktuator 17 beispielhaft als elektromagnetischer Aktuator ausgebildet.

**[0025]** Wie in Fig.1a und Fig.1b dargestellt ist, kann beispielsweise eine separate Ventilbaugruppe VG mit einem ggf. mehrteiligen Ventilgehäuse 18 vorgesehen sein, in dem der Zuschaltraum 11 angeordnet ist. Die Ventilbaugruppe VG kann im Bereich des Zylinders 2 am Kompressorgehäuse 10 des Kolbenkompressors 1 angeordnet werden. Wenn der Kolbenkompressor einen (nicht dargestellten) separaten Zylinderkopf aufweist, dann kann die Ventilbaugruppe VG beispielsweise an einer dafür vorgesehenen Öffnung am Zylinderkopf des Kolbenkompressors installiert werden. Nachfolgend wird aber Bezug auf die dargestellte Variante ohne Zylinderkopf genommen. Die Ventilbaugruppe VG kann mit geeigneten Befestigungsmitteln 19 am Kompressorgehäuse 10 befestigt werden, beispielsweise mit mehreren am Umfang verteilten Schrauben, wie in Fig.1a und Fig.1b schematisch angedeutet ist. Dadurch kann beispielsweise eine einfache Nachrüstung einer Kapazitätsregelung bei bestehenden Kolbenkompressoren 1 erfolgen, ohne dass umfangreiche konstruktive Änderungen durchgeführt werden müssen. Das Ventilgehäuse 18 weist vorzugsweise einen zylindrischen Ventilgehäuseabschnitt 26 mit einem Ventilgehäusedurchmesser  $D_v$  auf. Im befestigten Zustand der Ventilbaugruppe VG am Kolbenkompressor 1 ist der Ventilgehäuseabschnitt 26 zumindest teilweise innerhalb des Zylinders 2 angeordnet. In Fig.1b ist der zylindrische Ventilgehäuseabschnitt 26 nicht direkt im Zylinder 2 angeordnet, in dem sich der Kolben 3 bewegt, sondern in einer zur Aufnahme der Laufbuchse 2a vorgesehenen zylindrischen Aufnahmeöffnung. Im Beispiel gemäß Fig.1a entspricht der Ventilgehäusedurchmesser  $D_v$  im Wesentlichen dem Bohrungsdurchmesser B des Zylinders 2. Im Beispiel gemäß Fig.1b ist der Ventilgehäusedurchmesser  $D_v$  aufgrund der Laufbuchse 2a etwas größer als der Bohrungsdurchmesser B und entspricht im Wesentlichen dem Durchmesser der zylindrischen Aufnahmeöffnung.

**[0026]** Der Aktuator 17 ist vorzugsweise außerhalb des Ventilgehäuses 18 angeordnet und über eine Übertragungsstange 20, die durch eine Wandung des Ventilgehäuses 18 in den Zuschaltraum 11 ragt, mit dem Abhebegreifer 15 verbunden. Dies ist einerseits aus thermischen Gründen vorteilhaft, weil der Aktuator 17 nicht den Temperaturen und Drücken im Zuschaltraum 11 ausgesetzt ist. Zum anderen ist damit eine einfachere elektrische Anbindung an die Zuschaltventil-Steue-

rungseinheit 14 möglich. Zudem kann der Zuschaltraum 11 bei gleichem Zuschaltraumvolumen kleiner ausgebildet werden, weil das Volumen des Aktuators 17 das Zuschaltraumvolumen des Zuschaltraums 11 nicht verringert. In vorteilhafter Weise ist das Ventilgehäuse 18 mehrteilig ausgebildet. Im dargestellten Beispiel in Fig. 1a und Fig. 1b weist das Ventilgehäuse 18 einen ersten Gehäuseteil 18a auf, an dem der zylindrische Ventilgehäuseabschnitt 26 vorgesehen ist und an dem das Zuschaltventil 13 angeordnet ist, sowie einen zweiten Gehäuseteil 18b, der hier in Form eines Gehäusedeckels ausgebildet ist. Der Zuschaltraum 11 wird hierbei durch den ersten und zweiten Gehäuseteil 18a, 18b gebildet bzw. dadurch begrenzt. Durch die mehrteilige Ausführung sind unter anderem eine einfachere Montage und Wartung des Zuschaltventils 13 möglich. Der Aktuator 17 ist hierbei außerhalb am zweiten Gehäuseteil 18b bzw. Gehäusedeckel angeordnet und die Übertragungsstange 20 ragt durch den Gehäusedeckel in den Zuschaltraum 11.

**[0027]** Durch die erfindungsgemäße Verwendung eines selbsttätigen Ringventils mit Abhebegreifer 15 und einem geeigneten, insbesondere elektromagnetischen Aktuator 17 ist es nunmehr möglich, innerhalb sehr kurzer Zeit sehr präzise auf Laständerungen des Kompressors 1 reagieren zu können, insbesondere innerhalb eines Kompressionszyklus bzw. einer Umdrehung der Kurbelwelle. Beispielsweise ist es möglich das Zuschaltventil 13 im Kompressionshub innerhalb von maximal 5°, vorzugsweise maximal 3° Kurbelwinkel nach Betätigung des Abhebegreifers 15 zu schließen. Im Stand der Technik war eine solch rasche Steuerung der Zuschaltventile bisher aufgrund der verwendeten Ventilgeometrien und insbesondere aufgrund der relativ langsamen pneumatischen oder ausschließlich hydraulischen Betätigung nicht möglich.

**[0028]** Insbesondere durch die Verwendung eines Ringventils kann die Kapazitätsreglung in besonders vorteilhafter Weise bei größeren Kolbenkompressoren 1 zur Anwendung kommen, die einen Bohrungsdurchmesser B des Zylinders 2 von zumindest 100mm, vorzugsweise zumindest 500mm, besonders bevorzugt zumindest 800mm aufweisen. Der Bohrungsdurchmesser B ist in Fig. 1b durch den Innendurchmesser der Laufbuchse 2a ausgebildet. Bisher verwendete herkömmliche Sitzventile kommen hierbei schnell an ihre Grenzen, weil der Überströmquerschnitt der Überströmöffnung bei vergleichbarem Ventilhub im Verhältnis zu der dem Kompressionsraum zugewandten Ventilfläche bauartbedingt relativ klein ist. Dadurch würde es bei der Verwendung von herkömmlichen Sitzventilen bei großen Kolbenkompressoren zu einer relativ starken Drosselung im Bereich der Überströmöffnung kommen, was zu einer unerwünschten Aufheizung des komprimierten Kompressionsmediums aufgrund der Drosselverluste führen würde.

**[0029]** Ein größerer Ventilhub würden diesen Nachteil zwar teilweise verringern, dieser würde dafür aber zu län-

geren Schließzeiten führen, was ebenfalls nachteilig ist, weil dadurch unter Umständen keine hinreichend rasche Reaktion auf Laständerungen möglich wäre. Zum anderen ist eine Vergrößerung des Ventilhubes oftmals nicht möglich, weil der axiale Bauraum im Kompressionsraum begrenzt ist. Zudem wären bei Sitzventilen aufgrund der vergleichsweise großen Ventilfläche relativ große Kräfte zum Offenhalten des Ventils im Kompressionshub erforderlich, die von einem Aktuator unter Umständen nicht oder nur unzureichend aufgebracht werden könnten. Ringventile haben daher konstruktionsbedingt große Vorteile gegenüber Sitzventilen, insbesondere je größer der Bohrungsdurchmesser B des Zylinders 2 ist. Das Ringventil ist dabei vorzugsweise so dimensioniert, dass eine Strömungsquerschnittsfläche der Überströmöffnung/en 12 im geöffneten Zustand des Zuschaltventils 13 zumindest 5% einer Bohrungsquerschnittsfläche der Bohrung des Zylinders 2 oder einer Querschnittsfläche des zylindrischen Ventilgehäuseabschnitts 26 mit dem Gehäusedurchmesser  $D_v$  beträgt, vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt zumindest 15%. Dadurch kann eine ausreichend große Fläche zur Verfügung gestellt werden, sodass sich das Kompressionsmedium durch Drosselung im Bereich der Überströmöffnung/en 12 nicht unzulässig hoch aufheizt.

**[0030]** Weiters ist es vorteilhaft, dass der Aktuator 17 eine Schaltfrequenz von zumindest 5Hz aufweist, vorzugsweise zumindest 10Hz, besonders bevorzugt zumindest 20Hz. Dadurch kann der Abhebegreifer 15 sehr rasch betätigt werden, sodass Schließzeiten des Zuschaltventils 13 von kleiner 5°KW, vorzugsweise kleiner 3°KW realisiert werden können. Im dargestellten Beispiel sind das Saugventil 6 und das Druckventil 8 an einer Umfangsfläche des Zylinders 2 im Kompressionsraum 5 angeordnet und das Zuschaltventil 13 ist an einer dem Kolbenboden 3a des Kolbens 3 gegenüberliegenden Stirnseite des Zylinders 2 im Kompressionsraum 5 angeordnet. Diese Anordnung ist vorteilhaft, weil dadurch eine relativ große Fläche für das Zuschaltventil 13 verfügbar ist. Natürlich wäre aber grundsätzlich auch eine andere Anordnung denkbar. Im dargestellten Beispiel ist am freien Ende des zylindrischen Gehäuseabschnitts 26 des ersten Gehäuseteils 18a, der im montierten Zustand dem Kompressionsraum 5 zugewandt ist, zumindest im Bereich der Druck- und Saugventile 6, 8 eine Abschrägung 26a vorgesehen. Um die Fertigung zu vereinfachen ist die Abschrägung 26a vorzugsweise in Form einer um den gesamten Umfang des Gehäuseabschnitts 26 verlaufenden Fase ausgebildet. Dadurch wird im montierten Zustand der Ventilbaugruppe VG am Kolbenkompressor 1 im Bereich der Saug- und Druckventile 6, 8 ein Ringspalt mit einem im Wesentlichen dreieckigen Querschnitt gebildet. Dadurch wird auch im oberen Totpunkt des Kolbens 3 ein Überströmen des Kompressionsmediums über die Ventile 6, 8 ermöglicht.

**[0031]** Um einen möglichst großen verfügbaren Überströmquerschnitt zu erreichen weist das Zuschaltventil 13 vorzugsweise mehrere konzentrisch angeordnete,

zumindest abschnittsweise ringförmige Überströmöffnungen 12 auf, wie z.B. in Fig.1b dargestellt ist. Jeder Überströmöffnung 12 ist dabei ein korrespondierendes Dichtelement 21 zugeordnet, das die jeweilige Überströmöffnung 12 im geschlossenen Zustand des Zuschaltventils 13 abdichtet. Der Abhebegreifer 15 wirkt mittels Abhebegreiferfingern 15a durch die zumindest teilweise ringförmigen Überströmöffnungen 12 auf die Dichtelemente 21 ein. In bekannter Weise können natürlich auch mehrere ringförmige Dichtelemente 21 über radiale Stege zu einer gemeinsamen Dichtplatte verbunden sein, wie in Fig.1b angedeutet ist. Solche Ringventile sind grundsätzlich aus dem Stand der Technik bei Saugventilen bekannt, z.B. aus EP 2 876 303 B1, weshalb an dieser Stelle nur auf den grundsätzlichen Aufbau eingegangen wird.

**[0032]** Wie in Fig.1a beispielhaft dargestellt ist, kann das Zuschaltventil 13 einen Ventilträger 22 aufweisen, die in einer dafür vorgesehenen Öffnung im Ventilgehäuse 18 angeordnet und am Ventilgehäuse 18 mittels geeigneter Befestigungsmittel 27 wie z.B. Schrauben befestigt werden kann. Der Ventilträger 22 bildet im gezeigten Beispiel in Fig.1a damit einen Teil des Ventilgehäuses 18 aus, der im verbauten Zustand am Kolbenkompressor 1 dem Kompressionsraum 5 zugewandt ist. Zwischen Ventilträger 22 und Gehäuse 18 kann natürlich auch eine geeignete (nicht dargestellte) Dichtung angeordnet sein. Im Ventilträger 22 ist hier eine Ausnehmung vorgesehen, in der eine Ventilsitzplatte 23 angeordnet ist. Die Ventilsitzplatte 23 kann wiederum mit geeigneten Befestigungsmitteln 28 wie z.B. Schrauben am Ventilträger 22 befestigt sein. An der Ventilsitzplatte 23 sind eine (Fig.1a) oder vorzugsweise mehrere (Fig.1b) vorzugsweise konzentrische ringförmige Überströmöffnungen 12 angeordnet. Zwischen der Ventilsitzplatte 23 und dem Ventilträger 22 kann wiederum eine geeignete (nicht dargestellte) Dichtung vorgesehen sein.

**[0033]** Das Zuschaltventil 13 weist vorzugsweise auch einen sogenannten Ventiltfänger 24 auf, der z.B. im Beispiel gemäß Fig.1a in geeigneter Weise an der, der Außenseite des Ventilgehäuses 18 zugewandten Seite der Ventilsitzplatte 23 befestigt sein kann, die im montierten Zustand am Kolbenkompressor 1 dem Kompressionsraum 5 zugewandt ist. Der Ventiltfänger 24 kann beispielsweise als eine im Wesentlichen kreisförmige Platte ausgebildet sein. Der Ventiltfänger 24 kann beispielsweise über ein zentrales Befestigungselement 25, z.B. in Form einer Gewindestange, an der Ventilsitzplatte 23 befestigt sein. Das oder die Dichtelemente 21 sind zwischen der Ventilsitzplatte 23 und dem Ventiltfänger in axialer Richtung beweglich angeordnet. Das oder die Dichtelemente 21 sind vorzugsweise aus einem Material mit ausreichend hoher Festigkeit und möglichst guter Dichtwirkung hergestellt, beispielsweise aus einem geeigneten Kunststoff. Optional kann auch eine Vorspanneinrichtung vorgesehen sein, um das oder die Dichtelemente 21 in Richtung der Ventilsitzplatte 23 in die geschlossene Stellung vorzuspannen. Als Vorspanneinrichtung

können beispielsweise mehrere (nicht dargestellte) in Umfangsrichtung verteilte Federelemente, beispielsweise Schraubenfedern, zwischen dem oder den Dichtelementen 21 und dem Ventiltfänger 24 vorgesehen sein.

**[0034]** Im geschlossenen Zustand des Zuschaltventils 13 liegen das oder die Dichtelemente 21 an der Ventilsitzplatte 23 an und verschließen die Überströmöffnungen 12 der Ventilsitzplatte 23. Wenn der Druck im Zuschaltventilraum 11 den Druck im Kompressionsraum und ggf. eine allfällige Vorspannkraft der Vorspanneinrichtung während des Expansionshubs des Kolbens 3 übersteigt, werden das oder die Dichtelemente 21 selbsttätig in Richtung des Ventiltfängers 24 verlagert. Im maximal geöffneten Zustand des Zuschaltventils 13 können das oder die Dichtelemente 21 auch am Ventiltfänger 24 anliegen. Der Ventilhub kann somit vom Ventiltfänger 24 begrenzt werden. Im Ventiltfänger 24 sind vorteilhafterweise auch geeignete Öffnungen 24a vorgesehen, um die Drosselwirkung des geöffneten Zuschaltventils 13 möglichst gering zu halten.

**[0035]** Der Abhebegreifer 15 ist hier innerhalb des Zuschaltventilraums 11 angeordnet und die Abhebegreiferfinger 15a des Abhebegreifers 15 ragen durch die Überströmöffnungen 12, um auf das oder die Dichtelement/e 21 einzuwirken. Der Abhebegreifer 15 ist mittels der Übertragungsstange 20 mit dem Aktuator 17 verbunden. Der Aktuator 17 kann von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 angesteuert werden, um den Abhebegreifer 15 zu betätigen. Der Arbeitshub des Abhebegreifers 15 kann dabei fix vorgegeben sein, könnte aber auch einstellbar sein, beispielsweise mittels einer geeigneten Verstelleinrichtung, die in der Ventilbaugruppe VG vorgesehen sein kann. Die Verstelleinrichtung könnte beispielsweise so ausgebildet sein, dass eine Länge der Übertragungsstange 20 veränderbar ist oder dass eine gemeinsame Position des Aktuators 17 inkl. Übertragungsstange 20 und Abhebegreifer 15 verstellbar ist.

**[0036]** In Fig.1b ist die Ventilbaugruppe VG konstruktiv anders ausgebildet als in Fig.1a, wobei nachfolgend lediglich auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen wird. Die grundlegende Funktion bleibt unverändert. Das Zuschaltventil 13 in Fig.1b weist eine Ventilsitzplatte 23 auf, in der drei konzentrische ringförmige Überströmöffnungen 12 vorgesehen sind. Entsprechend weist das Zuschaltventil 13 drei damit zusammenwirkende ringförmige Dichtelemente 21 auf. Die Dichtelemente 21 sind hier miteinander verbunden und bilden eine gemeinsame Dichtplatte aus. Natürlich wären aber auch einzelne, voneinander unabhängig bewegliche, ringförmige Dichtelemente 21 möglich. Der Abhebegreifer 15 weist folglich zumindest einen Abhebegreiferfinger 15a je Überströmöffnung 12 auf. Im Unterschied zum Beispiel gemäß Fig.1a weist das Zuschaltventil 13 in Fig.1b keinen separaten Ventilträger 22 auf, der im Ventilgehäuse mittels Befestigungsmitteln 27, wie z.B. Schrauben, befestigt ist.

**[0037]** In Fig.1b ist der Ventiltfänger 24 hingegen so ausgebildet, dass er einen Teil des Ventilgehäuses 18 ausbildet, der im montierten Zustand dem Kompressi-

onsraum 5 zugewandt ist. Im gezeigten Beispiel ist an einer äußeren Umfangsfläche des Ventiltägers 24 ein erster Absatz vorgesehen und an einer inneren Umfangsfläche der dem Kompressionsraum 5 zugewandten Öffnung des Ventilgehäuses 18 ist ein mit dem ersten Absatz korrespondierender zweiter Absatz vorgesehen. Der erste Absatz des Ventiltägers 24 liegt im montierten Zustand am zweiten Absatz des Ventilgehäuses 18 an. Dadurch ist der Ventiltäger 24 im Ventilgehäuse 18 zentriert und verschließt die Öffnung im Ventilgehäuse 18 von der Seite des Zuschaltraums 11, also von innen. An der, dem Zuschaltraum 11 zugewandten Seite des Ventiltägers 24 ist eine Kontaktfläche vorgesehen, an der die Ventilsitzplatte 23 anliegt. Der Ventiltäger 24 kann beispielsweise wiederum mit einem zentralen Befestigungselement 25, z.B. in Form einer Gewindestange mit der Ventilsitzplatte 23 verbunden sein.

**[0038]** Im Unterschied zu Fig.1a ist am Ventilgehäuse 18 im Beispiel gemäß Fig.1b zusätzlich ein Halteabschnitt 18c vorgesehen. Der Halteabschnitt 18a ist an der, dem Zuschaltraum 11 zugewandten Seite des zweiten Gehäuseteils 18b, hier dem Gehäusedeckel angeordnet. Im montierten Zustand der Ventilbaugruppe VG ragt der Halteabschnitt 18c in den Zuschaltraum 11 und kontaktiert die Ventilsitzplatte 23. An der, der Zuschaltraum 11 zugewandten Seite der Ventilsitzplatte 23 kann dazu z.B. ein Halteabsatz vorgesehen sein, wie in Fig. 1b dargestellt, der zugleich zur Zentrierung dienen kann. Der Halteabschnitt 18c kann beispielsweise am Umfang verteilt und in Umfangsrichtung voneinander beabstandet angeordnete Haltefinger aufweisen. Der Halteabschnitt 18c kann vorzugsweise aber auch in Form einer zumindest abschnittsweise zylindrische Haltehülse ausgebildet sein, sodass in Umfangsrichtung eine möglichst gleichmäßige Haltekraft auf die Ventilsitzplatte 23 ausgeübt werden kann. Der Halteabschnitt 18c drückt im montierten Zustand auf die Ventilsitzplatte 23 und fixiert dadurch die Ventilsitzplatte 23 inkl. Ventiltäger 24 in Betätigungsrichtung des Zuschaltventils 13 im Ventilgehäuse 18. Wenn der Halteabschnitt 18c als geschlossene Haltehülse ausgebildet ist, dann ist das Zuschaltvolumen des Zuschaltraums 11 innerhalb der Haltehülse vorgesehen. Der Raum außerhalb der Hülse ist somit kein Teil des Zuschaltvolumens und trägt somit nicht zur Vergrößerung des Schadraums bei. Ggf. könnten am Umfang der Haltehülse aber auch geeignete Verbindungsöffnungen vorgesehen sein, um das Zuschaltvolumen zu vergrößern.

**[0039]** Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1b sind dadurch in vorteilhafter Weise keine Haltemittel wie z.B. Schrauben mehr nötig, um die Ventilsitzplatte 23 und/oder den Ventiltäger 24 am Ventilgehäuse 18 zu befestigen. Die Haltekraft wird hierbei über die Befestigungsmittel bzw. insbesondere Schrauben 19 erzeugt, mit welchen das gesamte Ventilgehäuse 18 (also der erste, untere Gehäuseteil 18a und der zweite, obere Gehäuseteil 18b gemeinsam) am Kompressorgehäuse 10 befestigt wird. Im dargestellten Beispiel ist der Halteab-

schnitt 18c als integraler Teil des zweiten Gehäuseteils 18b bzw. Gehäusedeckels ausgebildet. Natürlich ist dies aber nur beispielhaft zu verstehen und der Halteabschnitt 18c könnte z.B. auch in Form von einer oder mehrerer 5 getrennter Komponenten ausgebildet sein, die beispielsweise in geeigneter Weise am zweiten Gehäuseteil 18b, hier dem Gehäusedeckel, befestigt sein könnten. Bei geeigneter Ausführung könnte unter Umständen auch auf eine fixe Befestigung am zweiten Gehäuseteil 18b verzichtet werden.

**[0040]** Nachfolgend wird anhand Fig.2 die Verwendung der Ventilbaugruppe VG in einem Verfahren zur Kapazitätsregelung des Kolbenkompressors 1 näher erläutert. Fig.2 zeigt in p-V-Diagramm des Kolbenkompressors 1, wobei auf der Ordinate der Druck p im Kompressionsraum 5 aufgetragen ist und auf der Abszisse das Volumen V im Kompressionsraum 5. In bekannter Weise verändern sich der Druck p und das Volumen V in Abhängigkeit des Kolbenhubes des Kolbens 3 zwischen einem unteren Totpunkt UT und einem oberen Totpunkt OT sowie in Abhängigkeit der Schaltpunkte des Saug- und Druckventils 6, 8. Die durchgezogene Linie zwischen den Punkten A-B-C-D-A repräsentiert einen Arbeitszyklus bei deaktiviertem Zuschaltraum 11 bzw. eines Kolbenkompressors 1 ohne Zuschaltraum 11.

**[0041]** In Punkt A befindet sich der Kolben 3 im unteren Totpunkt UT am Beginn des Kompressionshubes, wobei das Saugventil 6 und das Druckventil 8 geschlossen sind. Durch die Bewegung des Kolbens 3 wird das Kompressionsmedium im Kompressionsraum 5 verdichtet bis der Öffnungsdruck pD des Druckventils erreicht ist und das Druckventil 8 im Punkt B öffnet. Das komprimierte Kompressionsmedium wird durch das geöffnete Druckventil 8 aus dem Kompressionsraum 5 in die Druckleitung 9 verdrängt. Im Punkt C erreicht der Kolben 3 den oberen Totpunkt OT und das Druckventil 8 schließt. Nun beginnt der Expansionshub des Kolbens 3, wobei der Kolben 3 wieder in die entgegengesetzte Richtung in Richtung des unteren Totpunktes UT bewegt wird. Dabei wird das Volumen im Kompressionsraum 5 wieder vergrößert und der Druck p sinkt.

**[0042]** Wenn der Öffnungsdruck pS des Saugventils 6 erreicht ist öffnet das Saugventil 6 und es wird bei im Wesentlichen gleichbleibendem Druck frisches Kompressionsmedium durch das Saugventil 6 aus der Saugleitung 7 angesaugt bis der Kolben 3 wieder den unteren Totpunkt UT erreicht und der Arbeitszyklus abgeschlossen ist. Die von der durchgezogenen Linie zwischen den Punkten A-B-C-D-A eingeschlossene Fläche F0 entspricht der maximalen Arbeit des Kompressors 1 bei deaktiviertem Zuschaltraum 11 bzw. eines Kolbenkompressors 1 ohne Zuschaltraum 11, wie in Fig.3a dargestellt ist. Die Arbeit ist im Wesentlichen proportional zur Fördermenge, daher kann die Fläche F allgemein als Maß für die Fördermenge bzw. die Kapazität des Kolbenkompressors 1 angesehen werden. Um die Fördermenge zu reduzieren, kann diese Fläche F nun gezielt beeinflusst werden, indem der Kompressionsraum 5

durch Öffnen des Zuschaltventils 13 mit dem Zuschaltraum 11 verbunden wird bzw. durch Schließen des Zuschaltventils 13 wieder getrennt wird, wie nachfolgend erläutert wird.

**[0043]** Die Fördermenge kann durch die Wahl des Schließpunktes SP und Öffnungspunktes OP des Zuschaltventils 13 im Wesentlichen stufenlos zwischen der maximalen Fördermenge (Fläche F0) und einer minimalen Fördermenge (Fläche F3 - Fig.3d) eingestellt werden. Um die minimale Fördermenge einzustellen kann das Zuschaltventil 13 mittels des Abhebegreifers 15 dauerhaft im geöffneten Zustand gehalten werden. Der Kompressionsraum 5 ist somit über die Überströmöffnung/en 12 dauerhaft mit dem Zuschaltraum 11 verbunden, so dass dadurch der Schadraum im Wesentlichen dauerhaft vergrößert ist. Im p-V-Diagramm in Fig.2 ist dies dadurch ersichtlich, dass die Kompressionslinie A-B3 (gepunktet) wesentlich flacher verläuft, als die Kompressionslinie A-B (durchgezogen) für den Betrieb ohne Zuschaltraum 11. Der Öffnungsdruck pD wird daher deutlich später im Kompressionshub erreicht, sodass das des Druckventils 8 entsprechend später im Punkt B3 öffnet. Das gleiche gilt für die gepunktete Expansionslinie C-D3, die deutlich flacher verläuft, als die durchgezogene Expansionslinie C-D für den Betrieb ohne Zuschaltraum 11, wodurch der Öffnungsdruck pS später im Expansionshub erreicht wird und das Saugventil 6 entsprechend später im Punkt D3 öffnet. Der Betrieb mit minimaler Fördermenge ist in Fig. 3d dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die durch die gepunkteten Linien zwischen A-B3-C-D3-A eingeschlossene Fläche F3 deutlich kleiner ist, als die in Fig.3a dargestellte Fläche F0 zwischen A-B-C-D, die der maximalen Fördermenge entspricht.

**[0044]** Durch eine entsprechende Steuerung des Zuschaltventils 13 kann die Fördermenge des Kompressors 1 nun zwischen der maximalen Fördermenge (Fläche F0 - Fig.3a) und der minimalen Fördermenge (Fläche F3 - Fig.3d) stufenlos eingestellt werden, wie beispielhaft anhand eines ersten Betriebsmodus im p-V-Diagramm in Fig.3b und anhand eines zweiten Betriebsmodus im p-V-Diagramm in Fig.3c dargestellt ist. Die von der gestrichelten Linie eingeschlossene erste Fläche F1 in Fig.3b ist dabei größer als die von der strichpunktiierten Linie eingeschlossene zweite Fläche F2 in Fig.3c. Die Fördermenge des ersten Betriebsmodus ist proportional der ersten Fläche F1 und daher größer als die Fördermenge des zweiten Betriebsmodus, die proportional der zweiten Fläche F2 ist. Unter Bezugnahme auf Fig.2 wird nachfolgend noch die Steuerung des Zuschaltventils 13 näher erläutert.

**[0045]** Da das Zuschaltventil 13 erfindungsgemäß als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, werden das oder die Dichtelement/e 21 während des Expansionshubs des Kolbens 3 rein aufgrund des Druckverhältnisses zwischen dem Druck im Zuschaltraum 11 und dem relativ dazu niedrigeren Druck im Kompressionsraum 5 von der Ventilsitzplatte 23 in Richtung des Kompressionsraums 5 abgehoben, wodurch die Überströmöffnung/en 12 frei-

gegeben werden. Dadurch ist keine zusätzliche Öffnungskraft erforderlich, die vom Aktuator 17 über den Abhebegreifer 15 aufgebracht werden müsste. Im ersten Betriebsmodus (Fig.2 + Fig.3b) öffnet das Zuschaltventil 13 beispielsweise in einem ersten Öffnungspunkt OP1 im Expansionshub bei einem zwischen dem Öffnungsdruck pD des Druckventils 8 und dem Öffnungsdruck pS des Saugventils 6 liegenden ersten Zuschaltventil-Öffnungsdruck pOP1 im Kompressionsraum 5 und einem ersten Zuschaltventil-Öffnungsvolumen VOP1.

**[0046]** Im zweiten Betriebsmodus (Fig.2 + Fig.3c) öffnet das Zuschaltventil 13 beispielsweise in einem zweiten Öffnungspunkt OP2 im Expansionshub bei einem zwischen dem Öffnungsdruck pD des Druckventils 8 und dem Öffnungsdruck pS des Saugventils 6 liegenden zweiten Zuschaltventil-Öffnungsdruck pOP2 im Kompressionsraum 5 und einem zweiten Zuschaltventil-Öffnungsvolumen VOP2. Bekanntermaßen ist das Volumen V im Kompressionsraum 5 bei einem Kolbenkompressor 1 allgemein abhängig vom Kurbelwinkel  $\varphi$  der Kurbelwelle, also  $V(\varphi)$ , wie auf der Abszisse in Fig.2 dargestellt. Somit kann der Öffnungspunkt OP des Zuschaltventils 13 dem Kurbelwinkel  $\varphi$  zugeordnet werden. Der Kurbelwinkel  $\varphi$  kann wie erwähnt z.B. von einem Kurbelwinkelsensor erfasst und der Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 in Form eines Kurbelwinkelsignals  $\varphi$  übermittelt werden.

**[0047]** Wie in Fig.2 und Fig.3b ersichtlich ist, verläuft die gestrichelte Expansionskurve im ersten Betriebsmodus ab dem ersten Öffnungspunkt OP1 aufgrund des nun vergrößerten Schadraums im Zylinder 2 wesentlich flacher als die durchgezogene Expansionskurve im Betriebsmodus ohne bzw. mit deaktiviertem Zuschaltraum 11. Dadurch verschiebt sich der Zeitpunkt der Öffnung des Saugventils 6 auf einen späteren Zeitpunkt D1. Nach der automatischen Öffnung des Zuschaltventils 13 wird der Abhebegreifer 15 vom Aktuator 17 aktiviert, um der Öffnungsbewegung des Zuschaltventils 13 bzw. des/der Dichtelement/e 21 nachzufolgen. Diese Bewegung kann beispielsweise innerhalb eines Zeitraums von bis zu 20° Kurbelwinkel erfolgen und erfordert keinen oder nur einen relativ geringen Kraftaufwand vom Aktuator 17. Dadurch kann die mechanische und thermische Belastung der Ventilbaugruppe VG in vorteilhafter Weise geringgehalten werden.

**[0048]** Das oder die Dichtelement/e 21 des Zuschaltventils 13 werden durch die Abhebegreiferfinger 15a des Abhebegreifers 15 bis in den folgenden Kompressionshub in der geöffneten Stellung gehalten, nachdem das Saugventil 6 im Punkt A bereits wieder geschlossen wurde. Dazu erzeugt der Aktuator 17 eine Haltekraft, die einer Schließkraft entgegenwirkt, die durch das Druckverhältnis zwischen dem Druck im Kompressionsraum 5 und dem (relativ dazu geringeren) Druck im Zuschaltraum 11 sowie der daraus resultierenden Strömung des Kompressionsmediums in den Zuschaltraum 11 auf das oder die Dichtelemente 21 ausgeübt wird. Durch die erfindungsgemäße Verwendung eines Ringventils als Zu-

schaltventil 13 kann die erforderliche Haltekraft, die vom Aktuator 17 aufgebracht werden muss relativ gering gehalten werden, wodurch folglich auch die mechanischen Belastungen auf die Ventilbaugruppe VG gering gehalten werden können.

**[0049]** Zum Schließen des Zuschaltventils 13 wird der Abhebegreifer 15 deaktiviert, also in entgegengesetzte Richtung von den Dichtelementen 21 wegbewegt, indem der Aktuator 17 zu einem festgelegten Zeitpunkt von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 angesteuert wird. Dadurch erfolgt eine Verringerung bzw. Wegnahme der Haltekraft, sodass das Zuschaltventil 13 im ersten Betriebsmodus im ersten Schließpunkt SP1 selbsttätig durch die auf das/die Dichtelement/e 21 wirkenden Strömungskräfte schließt. Vorzugsweise ist das Zuschaltventil 13 dabei derart ausgebildet, dass es aufgrund der während des Schließvorgangs wirkenden Strömungskräfte zu einer Deformation, insbesondere Durchbiegung, des/der Dichtelemente 21 kommt. Das führt temporär zu einer weiteren Strömungsquerschnittsverengung, welche einen erhöhten Druckabfall während des Schließvorgangs erzeugt. Dadurch kann eine hinreichend hohe Rückstellkraft erzeugt werden, sodass der Schließvorgang in einem Kurbelwinkelbereich von maximal  $5^\circ$ , vorzugsweise maximal  $3^\circ$  Kurbelwinkel nach der Deaktivierung des Abhebegreifers 15 ermöglicht wird.

**[0050]** Nach dem Schließen des Zuschaltventils 13 im ersten Schließpunkt SP1 bei einem ersten Zuschaltventil-Schließdruck  $p_{SP1}$  im Kompressionsraum 5 und einem ersten Zuschaltventil-Schließvolumen  $V_{SP1}(\varphi)$  im Kompressionsraum 5 wird der zu diesem Zeitpunkt im Zuschaltraum 11 herrschende Druck eingeschlossen, der im Wesentlichen dem ersten Zuschaltventil-Schließdruck  $p_{SP1}$  entspricht. Durch die Wahl des ersten Schließpunktes SP1 kann folglich auch der erste Öffnungspunkt OP1 des Zuschaltventils 13 im nachfolgenden Expansionshub festgelegt werden. Der Zuschaltventil-Schließdruck  $p_{SP1}$  und der Zuschaltventil-Öffnungsdruck  $p_{OP1}$  liegen (bei Vernachlässigung von Druckverlusten) im Wesentlichen auf dem gleichen Druckniveau  $p_{SP1} \sim p_{OP1}$ , wie in Fig.2 ersichtlich ist. Durch die Zuordnung des ersten Zuschaltventil-Schließvolumens  $V_{SP1}(\varphi)$  zum Kurbelwinkel  $\varphi$  kann der erste Schließpunkt SP1 des Zuschaltventils 13 in Abhängigkeit des Kurbelwinkels  $\varphi$  festgelegt werden. Die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 kann den Aktuator 17 daher in Abhängigkeit des Kurbelwinkels  $\varphi$  so ansteuern, dass das Zuschaltventil 13 im festgelegten ersten Schließpunkt SP1 geschlossen wird.

**[0051]** In Fig.3c ist der zweite Betriebsmodus mit einer im Vergleich zum ersten Betriebsmodus in Fig.3b geringeren Fördermenge (proportional zur Fläche  $F_2$ ) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der zweite Schließpunkt SP2 des Zuschaltventils 13 später im Kompressionshub liegt als der erste Schließpunkt SP1. Die strichpunktierte Kompressionslinie des zweiten Betriebsmodus verläuft daher bis zum zweiten Schließpunkt SP2 flacher und

steigt erst danach aufgrund des geringeren Schadraums wieder an. Durch den späteren zweiten Schließpunkt SP2 ist folglich wieder der zweite Öffnungspunkt OP2 im nachfolgenden Expansionshub festgelegt, weil der Zuschaltventil-Schließdruck  $p_{SP2}$  und der Zuschaltventil-Öffnungsdruck  $p_{OP2}$  im Wesentlichen auf dem gleichen Druckniveau  $p_{SP2} \sim p_{OP2}$  liegen. Wie in Fig.2 ersichtlich ist, liegt dieser aufgrund des im Vergleich zum ersten Betriebsmodus höheren eingeschlossenen Drucks im Zuschaltraum 11 früher im Expansionshub ( $V_{OP2}(\varphi) < V_{OP1}(\varphi)$ ), als der erste Öffnungspunkt OP1. Die strichpunktierte Expansionskurve flacht daher bereits ab dem zweiten Öffnungspunkt OP2 ab, sodass der Öffnungsdruck  $p_S$  des Saugventils 6 zu einem relativ zu Punkt D und relativ zu Punkt D1 späteren Zeitpunkt D2 erreicht wird.

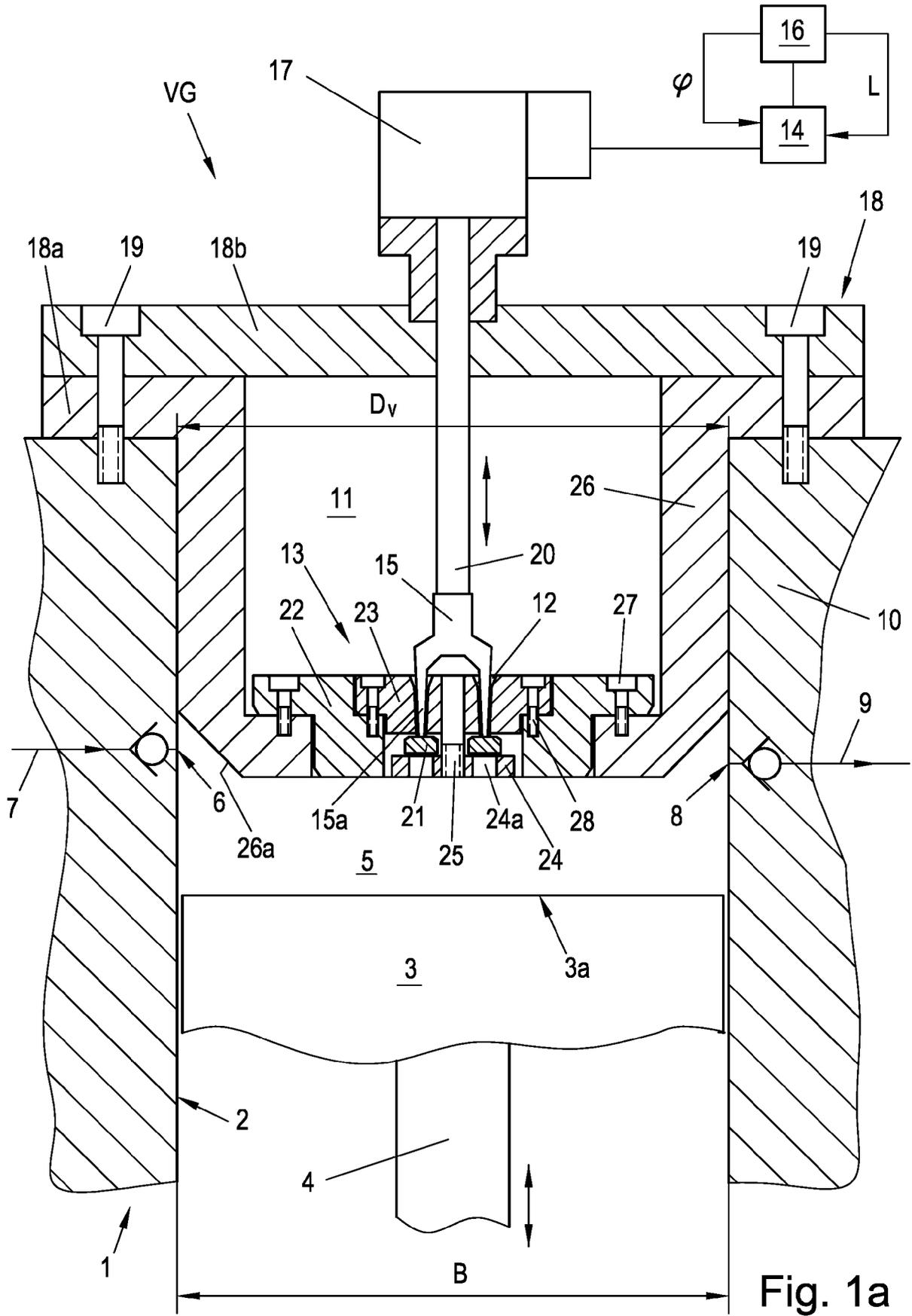
**[0052]** Wie bereits erwähnt ist es vorteilhaft, wenn die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 ein Lastsignal L des Kolbenkompressors 1 erhält, z.B. von der Kompressor-Steuerungseinheit 16 (Fig.1). Dadurch kann die Zuschaltventil-Steuerungseinheit 14 einen gewünschten Betriebsmodus des Zuschaltventils 13 in Abhängigkeit der Last des Kolbenkompressors 1 einstellen. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Zuschaltventils 13 mit Abhebegreifer 15 und geeignetem Aktuator 17 ist es auch möglich, dass der Betriebsmodus des Zuschaltventils 13 innerhalb sehr kurzer Zeit in Abhängigkeit der Last des Kompressors 1 verändert werden kann. Beispielsweise kann der Schließpunkt SP innerhalb eines Kompressionszyklus' (der bei einem Kolbenkompressor einer Umdrehung der Kurbelwelle entspricht) verändert werden, z.B. von einem ersten Schließpunkt SP1 zu einem zweiten Schließpunkt SP2, wie in Fig.2 dargestellt ist.

#### Patentansprüche

1. Kolbenkompressor (1) mit einem Kolben (3), der in einem Zylinder (2) hin und her bewegbar ist, um einen Kompressionsraum (5) im Zylinder (2) auszubilden, wobei am Kompressionsraum (5) zumindest ein Saugventil (6) und zumindest ein Druckventil (8) vorgesehen sind, wobei zumindest ein Zuschaltraum (11) mit einem Zuschaltraumvolumen vorgesehen ist, der über zumindest eine Überströmöffnung (12) mit dem Kompressionsraum (5) verbunden ist, wobei ein Zuschaltventil (13) zum Öffnen und Schließen der Überströmöffnung (12) und eine Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) zum Steuern des Zuschaltventils (13) vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, das die Überströmöffnung (12) in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum (11) und einem Druck im Kompressionsraum (5) selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil (13) selbsttätig öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum

- (11) größer ist, als der Druck im Kompressionsraum (5), dass ein Abhebegreifer (15) vorgesehen ist, der von einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator (17) betätigbar ist, um das Zuschaltventil (13) unabhängig vom Druckverhältnis in einem geöffneten Zustand zu halten und dass der Aktuator (17) von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) zur Betätigung ansteuerbar ist.
2. Kolbenkompressor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Strömungsquerschnittsfläche der Überströmöffnung (12) im geöffneten Zustand des Zuschaltventils (13) zumindest 5% einer Bohrungsquerschnittsfläche einer Bohrung des Zylinders (2) beträgt, vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt zumindest 15% und/oder dass ein Bohrungsdurchmesser (B) einer Bohrung des Zylinders (2) zumindest 100mm, vorzugsweise zumindest 500mm, besonders bevorzugt zumindest 800mm beträgt.
  3. Kolbenkompressor (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktuator (17) eine Schaltfrequenz von zumindest 5Hz aufweist, vorzugsweise zumindest 10Hz, besonders bevorzugt zumindest 20Hz und/oder dass als Aktuator (17) ein elektromagnetischer Aktuator oder ein elektrohydraulischer Aktuator vorgesehen ist.
  4. Kolbenkompressor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Saugventil (6) und/oder das Druckventil (8) als selbsttätiges Ventil ausgebildet ist, vorzugsweise als selbsttätiges Ringventil und/oder dass das Saugventil (6) und/oder das Druckventil (8) an einer Umfangsfläche des Zylinders (2) im Kompressionsraum (5) angeordnet sind und/oder dass das Zuschaltventil (13) an einer einem Kolbenboden (3a) des Kolbens (3) gegenüberliegenden Stirnseite des Zylinders (2) angeordnet ist.
  5. Kolbenkompressor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) mehrere konzentrisch angeordnete, zumindest abschnittsweise ringförmige Überströmöffnungen (12) aufweist, wobei jeder Überströmöffnung (12) ein Dichtelement (21) zugeordnet ist und wobei der Abhebegreifer (15) durch die ringförmigen Überströmöffnungen (12) auf die Dichtelemente (21) wirkt, wobei vorzugsweise mehrere ringförmige Dichtelemente (21) über radiale Stege zu einer Dichtplatte verbunden sind.
  6. Kolbenkompressor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) ein Ventilgehäuse (18) aufweist, in dem der Zuschaltraum (11) vorgesehen ist, wobei der elektromagnetische Aktuator (17) außerhalb des Ventilgehäuses (18) angeordnet ist und über eine Übertragungsstange (20), die durch eine Wand des Ventilgehäuses (18) in den Zuschaltraum (11) ragt, mit dem Abhebegreifer (15) verbunden ist.
  7. Kolbenkompressor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) dazu ausgebildet ist, das Zuschaltventil (13) in Abhängigkeit eines Lastsignals (L) und/oder in Abhängigkeit eines Kurbelwinkelsignals ( $\varphi$ ) des Kolbenkompressors (1) zu steuern.
  8. Ventilbaugruppe (VG) für einen Kolbenkompressor (1), mit einem Ventilgehäuse (18), in dem ein Zuschaltraum (11) mit einem Zuschalraumvolumen angeordnet ist, der über zumindest eine Überströmöffnung (12) mit der Umgebung verbunden ist und mit zumindest einem Zuschaltventil (13) zum Öffnen und Schließen der Überströmöffnung (12) das von einer Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) ansteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) als selbsttätiges Ringventil ausgebildet ist, das die Überströmöffnung (12) in Abhängigkeit eines Druckverhältnisses zwischen einem Druck im Zuschaltraum (11) und einem Umgebungsdruck selbsttätig öffnet und schließt, wobei das Zuschaltventil (13) selbsttätig öffnet, wenn der Druck im Zuschaltraum (11) größer ist, als der Umgebungsdruck und dass ein Abhebegreifer (15) vorgesehen ist, der von einem elektrisch ansteuerbaren Aktuator (17) betätigbar ist, um das Zuschaltventil (13) unabhängig vom Druckverhältnis in einem geöffneten Zustand zu halten, wobei der Aktuator (17) von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) zur Betätigung ansteuerbar ist.
  9. Ventilbaugruppe (VG) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ventilgehäuse (18) einen zylindrischen Ventilgehäuseabschnitt (26) mit einem Ventilgehäusedurchmesser ( $D_V$ ) zur Anordnung in einem Zylinder (2) des Kolbenkompressors (1) aufweist, wobei eine Strömungsquerschnittsfläche der Überströmöffnung (12) im geöffneten Zustand des Zuschaltventils (13) zumindest 5% einer Gehäusequerschnittsfläche des zylindrischen Ventilgehäuseabschnitts (16) beträgt, vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt zumindest 15%.
  10. Ventilbaugruppe (VG) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktuator (17) eine Schaltfrequenz von zumindest 5Hz aufweist, vorzugsweise zumindest 10Hz, besonders bevorzugt zumindest 20Hz, wobei als Aktuator (17) vorzugsweise ein elektromagnetischer Aktuator oder ein elektrohydraulischer Aktuator vorgesehen ist.
  11. Ventilbaugruppe (VG) nach einem der Ansprüche 8

- bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) mehrere konzentrisch angeordnete, zumindest abschnittsweise ringförmige Überströmöffnungen (12) aufweist, wobei jeder Überströmöffnung (12) ein Dichtelement (21) zugeordnet ist und wobei der Abhebegreifer (15) durch die ringförmigen Überströmöffnungen (12) auf die Dichtelemente (21) wirkt, wobei vorzugsweise mehrere ringförmige Dichtelemente (21) über radiale Stege zu einer Dichtplatte verbunden sind.
12. Ventilbaugruppe (VG) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktuator (17) außerhalb des Ventilgehäuses (18) angeordnet ist und über eine Übertragungsstange (20), die durch eine Wandung des Ventilgehäuses (18) in den Zuschaltraum (11) ragt, mit dem Abhebegreifer (15) verbunden ist.
13. Verfahren zum Betreiben eines Kolbenkompressors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein Kompressionsmedium während eines Expansionshubs des Kolbens (3) über das zumindest eine Saugventil (6) in den Kompressionsraum (5) angesaugt wird und während eines darauffolgenden Kompressionshubs des Kolbens (3) über das zumindest eine Druckventil (8) aus dem Kompressionsraum (5) abgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Zuschaltventil (13) in einem Öffnungspunkt (OP1, OP2) im Expansionshub vor einem Öffnen des Saugventils (6) selbsttätig öffnet, wenn ein Druck im Zuschaltraum (11) größer ist als ein Druck ( $p_{OP1}$ ,  $p_{OP2}$ ) im Kompressionsraum (5), wobei der Abhebegreifer (15) aktiviert wird, um das Zuschaltventil (13) unabhängig vom Druck im Zuschaltraum (11) und dem Druck im Kompressionsraum (5) im geöffneten Zustand zu halten und der Abhebegreifer (15) nach dem Schließen des Saugventils (6) zu einem bestimmten Zeitpunkt im Kompressionshub deaktiviert wird, sodass das Zuschaltventil (13) in einem festgelegten Schließpunkt (SP1, SP2) im Kompressionshub durch den relativ zum Druck im Zuschaltraum (11) höheren Druck ( $p_{SP1}$ ,  $p_{SP2}$ ) im Kompressionsraum (5) selbsttätig schließt, wobei der Abhebegreifer (15) vom Aktuator (17) betätigt wird und der Aktuator (17) von der Zuschaltventil-Steuerungseinheit (14) angesteuert wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schließpunkt (SP1, SP2) des Zuschaltventils (13) in Abhängigkeit eines Kurbelwinkels ( $\varphi$ ) des Kolbenkompressors (1) festgelegt wird, wobei das Zuschaltventil (13) vorzugsweise innerhalb eines Kurbelwinkelbereichs von maximal  $5^\circ$  KW, vorzugsweise maximal  $3^\circ$  KW nach der Deaktivierung des Abhebegreifers (15) geschlossen wird und/oder dass der Schließpunkt (SP1, SP2) des Zuschaltventils (13) in Abhängigkeit eines Lastsignals (L) des Kolbenkompressors (1) verändert wird, vorzugsweise innerhalb eines Kompressionszyklus'.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Öffnungspunkt (OP1, OP2) des Zuschaltventils (13) in einem Expansionshub durch den Schließpunkt (SP1, SP2) des Zuschaltventils (13) im vorhergehenden Kompressionshub festgelegt wird.







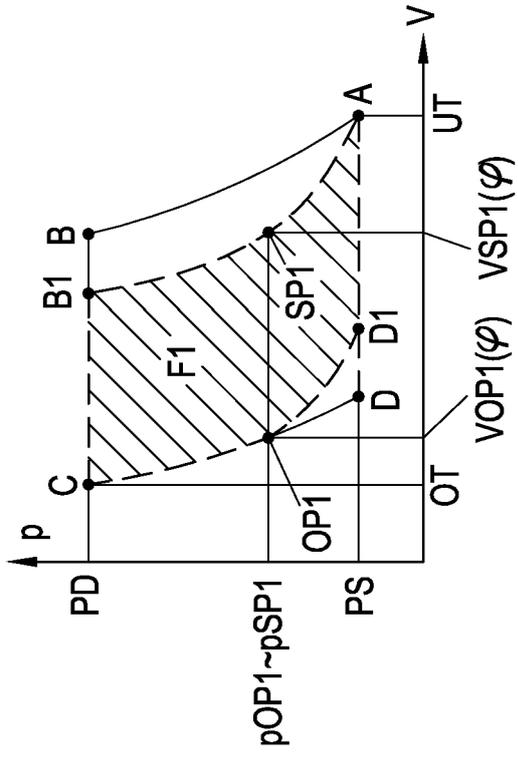


Fig. 3a

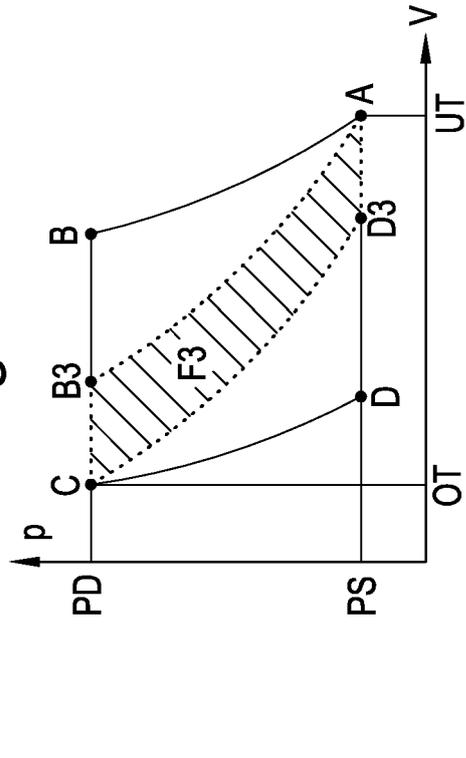


Fig. 3b

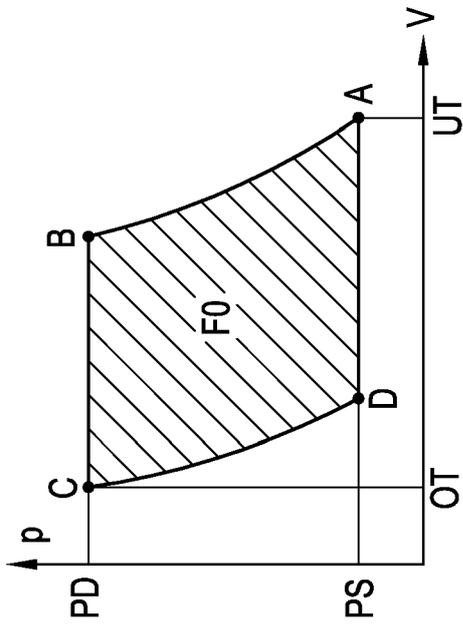
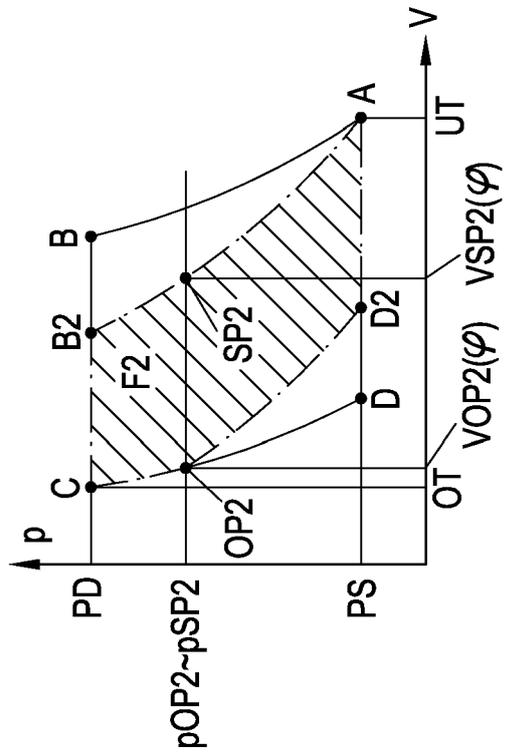


Fig. 3c





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 22 17 2088

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	<p>WO 2017/174717 A1 (KNORR-BREMSE SYSTEME FÜR NUTZFAHRZEUGE GMBH [DE]) 12. Oktober 2017 (2017-10-12) * Seite 12, Zeile 31 - Seite 13, Zeile 31; Abbildung 1 *</p> <p>-----</p> <p>* Seite 17, Zeile 12 - Zeile 22; Abbildung 6 *</p>	1-15	<p>INV. F04B35/01 F04B39/08 F04B39/10 F04B49/03</p>
X	<p>WO 2011/009879 A1 (BURCKHARDT COMPRESSION AG [CH]; ALLENSPACH ANDREAS [CH] ET AL.) 27. Januar 2011 (2011-01-27) * Seite 9, Zeile 21 - Seite 13, Zeile 23; Abbildungen 1,2 *</p> <p>-----</p>	1-15	<p>RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)</p> <p>F04B</p>
A	<p>DE 688 429 C (HOERBIGER &amp; CO) 20. Februar 1940 (1940-02-20) * Seite 1 - Seite 2; Abbildung 1 *</p> <p>-----</p>	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
<p>Recherchenort <b>München</b></p>		<p>Abschlussdatum der Recherche <b>16. September 2022</b></p>	<p>Prüfer <b>Jurado Orenes, A</b></p>
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>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</p> <p>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 ..... &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

1  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 22 17 2088

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.

16-09-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	<b>WO 2017174717 A1</b>	<b>12-10-2017</b>	<b>BR 112018070294 A2</b>	<b>29-01-2019</b>
			<b>CN 109312732 A</b>	<b>05-02-2019</b>
			<b>DE 102016106332 A1</b>	<b>12-10-2017</b>
			<b>EP 3440355 A1</b>	<b>13-02-2019</b>
			<b>JP 6671505 B2</b>	<b>25-03-2020</b>
			<b>JP 2019510925 A</b>	<b>18-04-2019</b>
			<b>KR 20180127487 A</b>	<b>28-11-2018</b>
			<b>US 2019040855 A1</b>	<b>07-02-2019</b>
20				<b>WO 2017174717 A1</b>
25	<b>WO 2011009879 A1</b>	<b>27-01-2011</b>	<b>CN 102472265 A</b>	<b>23-05-2012</b>
			<b>JP 5739420 B2</b>	<b>24-06-2015</b>
			<b>JP 2012533707 A</b>	<b>27-12-2012</b>
			<b>US 2012189467 A1</b>	<b>26-07-2012</b>
			<b>US 2012207623 A1</b>	<b>16-08-2012</b>
			<b>WO 2011009879 A1</b>	<b>27-01-2011</b>
			<b>WO 2011009880 A1</b>	<b>27-01-2011</b>
30	<b>DE 688429 C</b>	<b>20-02-1940</b>	<b>KEINE</b>	
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**

- CN 111188759 A [0003]
- US 5735675 A [0003]
- GB 487916 A [0004]
- EP 2876303 B1 [0031]