

(19)



(11)

EP 3 311 028 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.06.2019 Patentblatt 2019/23

(51) Int Cl.:
F04B 25/00 ^(2006.01) **F04B 49/02** ^(2006.01)
F04B 49/035 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16728839.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2016/000973

(22) Anmeldetag: **11.06.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/202443 (22.12.2016 Gazette 2016/51)

(54) **VERFAHREN ZUM VERDICHTEN EINES GASES, RECHENEINHEIT UND MEHRSTUFIGER KOLBENVERDICHTER**

METHOD FOR COMPRESSING A GAS, COMPUTING UNIT, AND MULTI-STAGE PISTON COMPRESSOR

PROCÉDÉ POUR COMPRIMER UN GAZ, UNITÉ DE CALCUL ET COMPRESSEUR À PISTON POLYÉTAGÉ

(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

(30) Priorität: **16.06.2015 DE 102015007731**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.04.2018 Patentblatt 2018/17

(73) Patentinhaber: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder:
• **ADLER, Robert**
A-2201 Gerasdorf (AT)
• **DORNER, Sascha**
2440 Gramatneusiedl (AT)
• **STEPHAN, Markus**
2392 Dornbach (AT)
• **NAGL, Christoph**
2534 Alland (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2009/058356 WO-A1-2009/112479
US-A- 4 236 876 US-A- 5 797 729

EP 3 311 028 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verdichten eines Gases mittels eines mehrstufigen Kolbenverdichters, eine Recheneinheit zu dessen Durchführung sowie einen solchen mehrstufigen Kolbenverdichter.

Stand der Technik

[0002] Vorrichtungen zum Verdichten von Gasen sind bekannt. Bspw. können hierzu Hubkolbenverdichter, Rotationsverdichter oder ionische Verdichter verwendet werden. Für höhere Verdichtungsverhältnisse kann bspw. ein mehrstufiger Aufbau von Verdichtungsanordnungen verwendet werden. Einzelne Stufen sind dabei üblicherweise durch Ventile oder Schiebersteuerungen voneinander getrennt. Ein Beispiel wird in US4236876 dargestellt.

[0003] Solche Verdichtungsanordnungen bzw. Verdichter sind dabei sowohl leistungs- als auch kraftmäßig in der Regel für definierte Größen wie Drücke, Kolbendurchmesser und somit auch Gaskräfte ausgelegt. Eine Änderung dieser Parameter an bestehenden Systemen ist daher oft nur schwer realisierbar.

[0004] Verdichter mit Linearmotoren, insbesondere elektrischen Linearmotoren als Antrieb, können kraftmäßig so ausgelegt sein, dass die Druckkraft der einzelnen Verdichterstufen höher ist als die vom Linearmotor erreichbare Maximalkraft. Durch eine betriebsweise Überlagerung der oszillierenden Massenkraft und der Verdichtungskräfte ergibt sich eine maximale resultierende Kraft, die geringer sein muss, als die maximal erreichbare Kraft des Linearmotors. Dadurch können auch durch kleine Triebwerke große Drücke erzeugt werden, ohne kleine Kolbendurchmesser zu verwenden und somit Förderleistung einbüßen zu müssen.

[0005] Bei knapp an der Grenze zur maximal erreichbaren Kraft betriebenen Verdichtern kommt es bei einer Erhöhung des Eingangsdrucks des zu verdichtenden Gases in der Regel jedoch zur Abschaltung, da die aufbringbare Kraft des Verdichters nicht mehr ausreicht, um das Gas wie vorgesehen zu verdichten.

[0006] Es ist daher wünschenswert, eine Möglichkeit bereitzustellen, bei solchen Verdichtern eine Abschaltung bei Erhöhung des Eingangsdrucks zu verhindern.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Verdichtung eines Gases nach Anspruch 1, eine Recheneinheit zu dessen Durchführung nach Anspruch 8 und einen mehrstufigen Kolbenverdichter nach Anspruch 9.

Vorteile der Erfindung

[0008] Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zum Verdichten eines Gases mittels eines mehrstufigen Kolbenverdichters. Dabei wird, wenn ein Eingangsdruck einer ersten Verdichtungsstufe einen Schwellwert über-

schreitet, das Gas wenigstens teilweise, insbesondere vollständig, vor der ersten Verdichtungsstufe abgezweigt und einer unmittelbar auf die erste Verdichtungsstufe folgenden zweiten Verdichtungsstufe zugeführt.

[0009] Auf diese Weise kann verhindert werden, dass Gas mit einem Druck, bei dem eine Verdichtung in der ersten Verdichtungsstufe bspw. aufgrund einer nicht aufbringbaren Kraft des verwendeten Antriebs nicht mehr möglich wäre, gar nicht erst der ersten Verdichtungsstufe, oder zumindest nicht vollständig, zugeführt wird. Die erste Verdichtungsstufe muss demzufolge nicht abgeschaltet werden. Das abgezweigte Gas wird stattdessen gleich der nachfolgenden Verdichtungsstufe zugeführt. Da diese Verdichtungsstufe für höhere Eingangsdrücke ausgelegt ist, kann das Gas hier verdichtet werden. Somit ist es auch möglich, einen Verdichter für höhere als eigentlich vorgesehen Eingangsdrücke zu verwenden. Damit können sich für einen Verdichter zusätzliche Anwendungsfälle ergeben, für welche vorher ein größerer bzw. leistungstärkerer Verdichter nötig war.

[0010] Vorzugsweise wird weiterhin ein Hub eines der ersten Verdichtungsstufe zugeordneten Kolbens des Kolbenverdichters reduziert. Damit kann bewusst ein Totraum in der ersten Verdichtungsstufe zugelassen werden, um die Gasmenge im entsprechenden Zylinder zu erhöhen. Zudem kann damit verhindert werden, dass in der ersten Verdichtungsstufe ein zu geringer Zylinderdruck entsteht (die Verdichtungsanordnung schiebt dabei bei geschlossenem Saugventil Gas durch ein Druckventil aus, das Gas kann aber nicht nachströmen und das verbleibende Gas wird expandiert, wodurch im Zylinder ein Druckabfall stattfindet), der bspw. zur Abschaltung führen könnte, da anderenfalls Luft von außen eingesaugt würde und sich mit dem zu verdichtenden Gas vermischen würde. Zudem kann dadurch der Leistungsbedarf des Verdichters verringert werden.

[0011] Vorteilhafterweise wird der Hub in Abhängigkeit von einem Restdruck nach einer Rückexpansion in der ersten Verdichtungsstufe und/oder einem Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe reduziert. So kann ein Differenzbetrag, um den der Hub reduziert wird, bspw. umso weiter verringert werden, je höher der Restdruck nach der Rückexpansion in der ersten Verdichtungsstufe ist und/oder je größer (bezogen auf die Hubverminderung) der Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe ist. Dabei kann insbesondere das Totvolumen des betreffenden Zylinders der ersten Verdichtungsstufe mit berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann der Betrieb des Verdichters optimal an die vorliegenden Umstände angepasst werden. Für eine detailliertere Beschreibung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Verringerung des Hubs und dem Restdruck nach einer Rückexpansion in der ersten Verdichtungsstufe und dem Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe sei an dieser Stelle auf die Figurenbeschreibung verwiesen.

[0012] Es ist von Vorteil, wenn die Reduzierung des Hubs anhand von hinterlegten Werten für den Restdruck und/oder den Eingangsdruck der zweiten Verdichtungs-

stufe ermittelt wird. Damit kann der Rechenaufwand, insbesondere in Echtzeit, deutlich reduziert werden. Bspw. können dazu die Werte für die Hubreduzierung entsprechend Schritten von 0,5 bar der jeweiligen Drücke hinterlegt sein, bspw. in einer Steuerungseinheit für den Verdichter.

[0013] Vorzugsweise wird das Gas vor der ersten Verdichtungsstufe abgezweigt und der zweiten Verdichtungsstufe zugeführt, indem ein erstes Ventil in einem ersten Förderweg zur ersten Verdichtungsstufe wenigstens teilweise geschlossen und ein zweites Ventil in einem zweiten Förderweg von dem ersten Förderweg zur zweiten Verdichtungsstufe wenigstens teilweise geöffnet wird. Eine solche Ventillogik mit einem zweiten Förderweg im Sinne einer Bypass-Leitung ermöglicht eine besonders einfache Ausführung des Verfahrens.

[0014] Vorteilhafterweise wird als erstes Ventil ein Einlassventil der ersten Verdichtungsstufe verwendet. Zum Schließen kann das Einlassventil bspw. verriegelt werden. Auf diese Weise ist, außer dem zweiten Ventil in dem zweiten Förderweg, kein zusätzliches Ventil nötig.

[0015] Es ist von Vorteil, wenn zur Bewegung von Kolben im Kolbenverdichter wenigstens ein elektrischer Linearmotor verwendet wird. Dies ermöglicht eine besonders einfache Anpassung des Hubs des Kolbens.

[0016] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit ist dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Bei einer solchen Recheneinheit kann es sich bspw. um eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) handeln. Diese Recheneinheit ist dazu dann insbesondere dazu eingerichtet, die erforderlichen Größen zu erfassen und zu verarbeiten und entsprechend die nötigen Komponenten anzusteuern.

[0017] Vorteilhafterweise wird zudem ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Klopferkennung vorgesehen.

[0018] Ein erfindungsgemäßer mehrstufiger Hubkolbenverdichter weist einen Gaseingang, eine erste Verdichtungsstufe und eine zweite Verdichtungsstufe auf. Dabei ist in einem ersten Förderweg zu einem Gaseinlass der ersten Verdichtungsstufe ein erstes Ventil angeordnet und es ist ein zweiter Förderweg, der von dem ersten Förderweg vor dem ersten Ventil abzweigt und zu einem Gaseinlass der zweiten Verdichtungsstufe führt, vorgesehen. Dabei ist im zweiten Förderweg ein zweites Ventil vorgesehen.

[0019] Vorzugsweise ist das erste Ventil als Einlassventil der ersten Verdichtungsstufe ausgebildet.

[0020] Vorteilhafterweise weist der mehrstufige Hubkolbenverdichter wenigstens einen elektrischen Linearmotor zur Bewegung von Kolben des Hubkolbenverdichters auf.

[0021] Es ist von Vorteil, wenn der mehrstufige Hubkolbenverdichter eine erfindungsgemäße Recheneinheit aufweist.

[0022] Bzgl. der Vorteile und Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen mehrstufigen Hubkolbenverdichters sei zur Vermeidung von Wiederholungen an dieser Stelle auf die Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren

ren verwiesen.

[0023] Der Kolbenverdichter wird für die Verdichtung von Gasen verwendet. Insbesondere wird der Kolbenverdichter für die Verdichtung von Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff, Methan, Erdgas, Helium oder Stickstoff verwendet.

[0024] Der Hubkolbenverdichter zur Verdichtung von Gas wird bevorzugt bei Temperaturen von -253 bis 150 °C betrieben. Durch den Kolbenverdichter kann das Gas bevorzugt auf Drücke zwischen 0,1 bar und 1000 bar verdichtet werden.

[0025] Die Temperaturen und Drücke sind abhängig vom Gas, welches verdichtet werden soll.

[0026] In den folgenden Ausführungsbeispielen werden bevorzugte Betriebsparameter zur Verdichtung verschiedener Gase mit dem Kolbenverdichter beschrieben. Bei den Gasen kann es sich unter Umständen auch um feuchte und/oder verunreinigte Gase handeln oder um Gasmischungen.

Kohlenstoffdioxid:

[0027] Die Eingangstemperatur (Temperatur vor der Verdichtung) des Kohlenstoffdioxids beträgt bevorzugt zwischen -60 °C und 120 °C, insbesondere 1 bis 80 °C. Die Ausgangstemperatur (Temperatur nach der Verdichtung) des Kohlenstoffdioxids beträgt bevorzugt zwischen 40 und 150 °C, insbesondere zwischen 60 und 100 °C. Der Eingangsdruck (Druck vor der Verdichtung) des Kohlenstoffdioxids beträgt bevorzugt 0,1 bar bis 10 bar, insbesondere 0,2 bis 4 bar. Der Ausgangsdruck (Druck nach der Verdichtung) des Kohlenstoffdioxids beträgt bevorzugt zwischen 5 und 100 bar, insbesondere 20 bis 60 bar. Der Volumenstrom liegt bevorzugt bei 0,5 Nm³/h bis 50 Nm³/h, insbesondere bei 1 Nm³/h bis 8 Nm³/h.

Wasserstoff:

[0028] Die Eingangstemperatur (Temperatur vor der Verdichtung) des Wasserstoffs beträgt bevorzugt zwischen -253 °C und 80 °C, insbesondere -253 °C bis -80 °C bei der Verwendung als kryogener Verdichter oder insbesondere -20 °C bis 80 °C bei der Verwendung als ionischer Verdichter. Die Ausgangstemperatur (Temperatur nach der Verdichtung) des Wasserstoffs beträgt bevorzugt zwischen -250 und 150 °C, insbesondere zwischen -60 und 80 °C. Der Eingangsdruck (Druck vor der Verdichtung) des Wasserstoffs beträgt bevorzugt 0,8 bar bis 40 bar, insbesondere 2,5 bis 30 bar. Der Ausgangsdruck (Druck nach der Verdichtung) des Wasserstoffs beträgt bevorzugt zwischen 10 und 1000 bar, insbesondere 500 bis 1000 bar. Der Volumenstrom liegt bevorzugt bei 0,5 Nm³/h bis 500 Nm³/h, insbesondere bei 50 Nm³/h bis 350 Nm³/h.

Methan oder Erdgas:

[0029] Die Eingangstemperatur (Temperatur vor der

Verdichtung) des Methan oder Erdgas beträgt bevorzugt zwischen -182 °C und 80 °C, insbesondere -182 °C bis -40 °C bei der Verwendung als kryogener Verdichter oder insbesondere -20 °C bis 80 °C bei der Verwendung als ionischer Verdichter. Die Ausgangstemperatur (Temperatur nach der Verdichtung) des Methan oder Erdgas beträgt bevorzugt zwischen -180 und 150 °C, insbesondere zwischen -60 und 80 °C. Der Eingangsdruck (Druck vor der Verdichtung) des Methan oder Erdgas beträgt bevorzugt 0,8 bar bis 30 bar, insbesondere 1,5 bis 20 bar. Der Ausgangsdruck (Druck nach der Verdichtung) des Methan oder Erdgas beträgt bevorzugt zwischen 10 und 650 bar, insbesondere 300 bis 600 bar. Der Volumenstrom liegt bevorzugt bei 0,5 Nm³/h bis 1000 Nm³/h, insbesondere bei 5 Nm³/h bis 350 Nm³/h.

Helium:

[0030] Die Eingangstemperatur (Temperatur vor der Verdichtung) des Heliums beträgt bevorzugt zwischen -269 °C und 80 °C, insbesondere -269 °C bis -80 °C bei der Verwendung als kryogener Verdichter oder insbesondere -20 °C bis 80 °C bei der Verwendung als ionischer Verdichter. Die Ausgangstemperatur (Temperatur nach der Verdichtung) des Heliums beträgt bevorzugt zwischen -269 und 150 °C, insbesondere zwischen -60 und 80 °C. Der Eingangsdruck (Druck vor der Verdichtung) des Heliums beträgt bevorzugt 0,8 bar bis 40 bar, insbesondere 2,5 bis 20 bar. Der Ausgangsdruck (Druck nach der Verdichtung) des Heliums beträgt bevorzugt zwischen 10 und 1000 bar, insbesondere 200 bis 600 bar. Der Volumenstrom liegt bevorzugt bei 0,5 Nm³/h bis 600 Nm³/h, insbesondere bei 50 Nm³/h bis 400 Nm³/h.

Stickstoff:

[0031] Die Eingangstemperatur (Temperatur vor der Verdichtung) des Stickstoffs beträgt bevorzugt zwischen -196 °C und 80 °C, insbesondere -196 °C bis -40 °C bei der Verwendung als kryogener Verdichter oder insbesondere -20 °C bis 80 °C bei der Verwendung als ionischer Verdichter. Die Ausgangstemperatur (Temperatur nach der Verdichtung) des Stickstoffs beträgt bevorzugt zwischen -195 und 150 °C, insbesondere zwischen -60 und 80 °C. Der Eingangsdruck (Druck vor der Verdichtung) des Stickstoffs beträgt bevorzugt 0,8 bar bis 30 bar, insbesondere 1,5 bis 17 bar. Der Ausgangsdruck (Druck nach der Verdichtung) des Stickstoffs beträgt bevorzugt zwischen 10 und 650 bar, insbesondere 200 bis 400 bar. Der Volumenstrom liegt bevorzugt bei 0,5 Nm³/h bis 500 Nm³/h, insbesondere bei 5 Nm³/h bis 350 Nm³/h.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0032]

Figur 1 zeigt schematisch in einem Flussdiagramm einen erfindungsgemäßen mehrstufigen Hub-

kolbenverdichter in einer bevorzugten Ausführungsform.

Figur 2 zeigt schematisch in einem Diagramm Hubverläufe bei einem erfindungsgemäßen mehrstufigen Hubkolbenverdichter in einer bevorzugten Ausführungsform.

Ausführungsform der Erfindung

[0033] In Figur 1 ist schematisch und als Flussdiagramm ein erfindungsgemäßer mehrstufiger Kolbenverdichter 100 in einer bevorzugten Ausführungsform gezeigt. Der Kolbenverdichter 100 weist dabei eine erste Verdichtungsstufe 110 und eine zweite Verdichtungsstufe 120 auf. Die beiden Verdichtungsstufen sind dabei jeweils als Kolben, die sich in einem Zylinder bewegen ausgebildet. Diese Kolben werden dabei von einem elektrischen Linearmotor 130 angetrieben. Selbstverständlich können weitere Verdichtungsstufen vorgesehen sein.

[0034] Die erste Verdichtungsstufe weist dabei ein Einlassventil 111 und ein Auslassventil 112 auf, welche als druckgesteuerte Rückschlagventile ausgebildet sein können. Ebenso weist die zweite Verdichtungsstufe 120 ein Einlassventil 121 und ein Auslassventil 122 auf, welche ebenfalls als druckgesteuerte Rückschlagventile ausgebildet sein können.

[0035] Der reguläre Gasfluss erfolgt dabei über einen ersten Förderweg 161 (in Figur 1 links dargestellt) zur ersten Verdichtungsstufe 110 und von der ersten Verdichtungsstufe 110 dann zur zweiten Verdichtungsstufe 120. Anschließend kann das Gas einer gewünschten Verwendung zugeführt werden.

[0036] Weiterhin sind Drucksensoren 141, 142 und 143 vorgesehen. Mit dem Drucksensor 141 kann ein Eingangsdruck zur ersten Verdichtungsstufe erfasst werden, mit dem Drucksensor 142 kann ein Ausgangsdruck der ersten Verdichtungsstufe 110, respektive Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe 120 erfasst werden und mit dem Drucksensor 143 kann ein Ausgangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe 120 erfasst werden. Die Drucksensoren 141, 142 und 143 sind dabei an eine als speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ausgebildete Recheneinheit 170 angebunden. Die SPS 170 kann somit die entsprechenden Drücke erfassen bzw. auslesen.

[0037] Weiterhin ist ein erstes Ventil 151 im ersten Förderweg 161 vorgesehen. Dieses erste Ventil 151 kann vorliegend über die SPS 170 angesteuert, d.h. geöffnet und geschlossen werden. Dabei ist das erste Ventil 151 im Normalbetrieb geöffnet.

[0038] Weiterhin ist ein zweiter Förderweg 162 im Sinne einer Bypass-Leitung vorgesehen, der vom ersten Förderweg 161, und zwar noch vor dem ersten Ventil 151, abzweigt und vor die zweite Verdichtungsstufe 120 führt. In dem zweiten Förderweg 162 ist ein zweites Ventil 152 vorgesehen, das ebenfalls von der SPS 170 ange-

steuert, d.h. geöffnet und geschlossen werden kann. Dabei ist das zweite Ventil 152 im Normalbetrieb geschlossen.

[0039] Wird nun von der SPS 170 während des Betriebs des Kolbenverdichters 100 mittels des Drucksensors 141 ein Eingangsdruck zu ersten Verdichtungsstufe 110 erfasst bzw. gemessen, der über einem Schwellwert liegt, so wird das erste Ventil 151 bspw. vollständig geschlossen. Gleichzeitig wird das zweite Ventil 152 bspw. vollständig geöffnet. Das Gas strömt nun anstatt zur ersten Verdichtungsstufe 110 direkt zum Eingang der zweiten Verdichtungsstufe 120.

[0040] Dieser Schwellwert kann dabei vorzugsweise so gewählt werden, dass mit Eingangsdrücken bis zu diesem Schwellwert die Leistung bzw. die aufbringbare Kraft des elektrischen Linearmotors 130 für die erste Verdichtungsstufe 110 gerade noch ausreicht, die geforderte Verdichtung durchzuführen. Auf diese Weise werden Eingangsdrücke, bei denen die geforderte Verdichtung nicht mehr durchgeführt werden könnte, in der ersten Verdichtungsstufe 110 vermieden.

[0041] Weiterhin wird der elektrische Linearmotor 130 von der SPS 170 derart angesteuert, dass der Hub des der ersten Verdichtungsstufe 110 zugeordneten Kolbens reduziert wird.

[0042] In Figur 2 sind schematisch in einem Diagramm Hubverläufe bei einem erfindungsgemäßen mehrstufigen Hubkolbenverdichter in einer bevorzugten Ausführungsform gezeigt. Dazu ist ein Hub h gegenüber einer Zeit t aufgetragen.

[0043] Mit h_1 ist dabei ein Hubverlauf des der ersten Verdichtungsstufe zugeordneten Kolbens bezeichnet und mit h_2 ein Hubverlauf des der zweiten Verdichtungsstufe zugeordneten Kolbens.

[0044] Der Hub h_1 des Kolbens der ersten Verdichtungsstufe wird nun um einen Betrag Δh reduziert, so dass sich ein Hub h'_1 für den Kolben der ersten Verdichtungsstufe ergibt. Der Hub des Kolbens der zweiten Verdichtungsstufe bleibt unverändert. Wie bereits eingangs erwähnt, wird dadurch ein Unterdruck in der zweiten Verdichtungsstufe vermieden.

[0045] Der Differenzbetrag Δh , um den der Hub reduziert wird, kann dabei anhand folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta h(p_1) = \frac{\left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \cdot V_{stat} - V_{stat} \right]}{\frac{d^2}{4} \pi}$$

[0046] Dabei bezeichnet p_1 den Restdruck nach der Rückexpansion in der ersten Verdichtungsstufe. Der Druck p_1 kann ein frei definierbarer Druck sein, der ein Unterschreiten eines Absolutdrucks von 1 bar ausschlie-

ßen soll. Sinnvollerweise sollte $p_1 \gg 1$ bar absolut liegen. Der Druck nach der Rückexpansion kann bspw. rechnerisch ermittelt bzw. indirekt festgestellt werden, sofern der Druck p_1 in der Periode der Rückexpansion unter den vom Drucksensor 141 gemessenen Druck fällt. In diesem Fall würde Gas aus dem Volumen zwischen den Ventilen 151, 111 und dem Drucksensor 141 nachströmen und der mit dem Drucksensor 141 gemessene Druck würde somit abfallen. Mit p_2 ist der Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe, wie er bspw. mittels des Drucksensors 142 gemessen wird, bezeichnet.

[0047] Mit κ ist der Isentropenkoeffizient der adiabatischen Zustandsänderung und mit V_{stat} ein statisches Totvolumen der ersten Verdichtungsstufe bezeichnet, wie es sich aus den Abmessungen des Kolbens und des Zylinders ergibt. Mit d ist schließlich der Durchmesser des Kolbens der ersten Verdichtungsstufe bezeichnet. Mit anderen Worten wird durch die Hubreduzierung also das Totvolumen der ersten Verdichtungsstufe vergrößert.

[0048] Steigt der Druck auf der Saugseite der zweiten Verdichtungsstufe, verkleinert sich der Wert Δh und der effektive Hub wird dadurch erhöht. Für niedrige Drücke muss daher ein großer Totraum in Kauf genommen werden, um bei der Rückexpansion eine Saugdrucküberwachung nicht zu verletzen.

[0049] Um den Rechenaufwand zu minimieren ist es bspw. sehr praktikabel, wenn entsprechende Werte bspw. in 0,5 bar-Schritten in Tabellen festgehalten und diese in der SPS hinterlegt werden. Eine solche Stufenabschaltung wird praxisorientiert dann bspw. erst ab jenem Eingangsdruck aktiviert, ab dem der elektrische Linearmotor nicht mehr in der Lage ist, den Kolben in Bewegung zu setzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verdichten eines Gases mittels eines mehrstufigen Kolbenverdichters (100), **dadurch gekennzeichnet, dass**, wenn ein Eingangsdruck einer ersten Verdichtungsstufe (110) einen Schwellwert überschreitet, das Gas wenigstens teilweise, insbesondere vollständig, vor der ersten Verdichtungsstufe (110) abgezweigt und einer unmittelbar auf die erste Verdichtungsstufe (110) folgenden zweiten Verdichtungsstufe (120) zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei weiterhin ein Hub (h_1) eines der ersten Verdichtungsstufe (110) zugeordneten Kolbens des Kolbenverdichters (100) reduziert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Hub (h_1) in Abhängigkeit von einem Restdruck nach einer Rückexpansion in der ersten Verdichtungsstufe (110) und/oder einem Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe (120) reduziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Reduzierung des Hubs (h_1) anhand von hinterlegten Werten für den Restdruck und/oder den Eingangsdruck der zweiten Verdichtungsstufe (120) ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Gas vor der ersten Verdichtungsstufe (110) abgezweigt und der zweiten Verdichtungsstufe (120) zugeführt wird, indem ein erstes Ventil (151) in einem ersten Förderweg (161) zur ersten Verdichtungsstufe (110) wenigstens teilweise geschlossen und ein zweites Ventil (152) in einem zweiten Förderweg (162) von dem ersten Förderweg (161) zur zweiten Verdichtungsstufe (120) wenigstens teilweise geöffnet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei als erstes Ventil (151) ein Einlassventil der ersten Verdichtungsstufe verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zur Bewegung von Kolben im Kolbenverdichter (100) wenigstens ein elektrischer Linearmotor (130) verwendet wird.
8. Recheneinheit (170), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
9. Mehrstufiger Hubkolbenverdichter (100) mit einem Gaseingang, einer ersten Verdichtungsstufe (110) und einer zweiten Verdichtungsstufe (120), mit einem ersten Förderweg (161) zu einem Gaseinlass der ersten Verdichtungsstufe (110) und einem zweiten Förderweg (162), der von dem ersten Förderweg (161) abzweigt und zu einem Gaseinlass der zweiten Verdichtungsstufe (120) führt und wobei im zweiten Förderweg (162) ein zweites Ventil (152) vorgesehen ist,
dadurch gekennzeichnet, dass in dem ersten Förderweg (161) ein erstes Ventil (151) angeordnet ist und dass der zweite Förderweg (162) vor diesem ersten Ventil (151) von dem ersten Förderweg (161) abzweigt.
10. Mehrstufiger Hubkolbenverdichter (100) nach Anspruch 9, wobei das erste Ventil (151) als Einlassventil der ersten Verdichtungsstufe ausgebildet ist.
11. Mehrstufiger Hubkolbenverdichter (100) nach Anspruch 9 oder 10, mit wenigstens einem elektrischen Linearmotor (130) zur Bewegung von Kolben des Hubkolbenverdichters (100).
12. Mehrstufiger Hubkolbenverdichter (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, mit einer Recheneinheit (170) nach Anspruch 8.

Claims

1. Method for compressing a gas by means of a multi-stage piston compressor (100), wherein a first flow path (161) to a gas inlet of a first compression stage (110) is provided with a first valve (151) and a second flow path (162) to a gas inlet of a second compression stage (120) is provided with a second valve (152) and wherein, if an inlet pressure of the first compression stage (110) exceeds a threshold value, the gas upstream of the first compression stage (110) is at least partially diverted and fed to the second compression stage (120), which directly follows the first compression stage (110).
2. Method according to Claim 1, wherein furthermore a stroke (h_1) of a piston of the piston compressor (100) that is assigned to the first compression stage (110) is reduced.
3. Method according to Claim 2, wherein the stroke (h_1) is reduced in dependence on a residual pressure after a re-expansion in the first compression stage (110) and/or an inlet pressure of the second compression stage (120).
4. Method according to Claim 3, wherein the reduction of the stroke (h_1) is determined on the basis of stored values for the residual pressure and/or the inlet pressure of the second compression stage (120).
5. Method according to one of the preceding claims, wherein the gas upstream of the first compression stage (110) is diverted and fed to the second compression stage (120), in that a first valve (151) in a first flow path (161) to the first compression stage (110) is at least partially closed and a second valve (152) in a second flow path (162) from the first flow path (161) to the second compression stage (120) is at least partially opened.
6. Method according to Claim 5, wherein an inlet valve of the first compression stage is used as the first valve (151).
7. Method according to one of the preceding claims, wherein at least one electric linear motor (130) is used for moving pistons in the piston compressor (100).
8. Computing unit (170), which is designed for carrying out a method according to one of the preceding claims.
9. Multi-stage reciprocating piston compressor (100) with a gas inlet, a first compression stage (110) and a second compression stage (120), with a first flow path (161) to a gas inlet of the first

compression stage (110) and a second flow path (162), which branches off from the first flow path (161) and leads to a gas inlet of the second compression stage (120) and wherein a second valve (152) is provided in the second flow path (162), **characterized in that** a first valve (151) is arranged in the first flow path (161) and **in that** the second flow path (162) branches off from the first flow path (161) upstream of this first valve (151).

10. Multi-stage reciprocating piston compressor (100) according to Claim 9, wherein the first valve (151) is designed as an inlet valve of the first compression stage.
11. Multi-stage reciprocating piston compressor (100) according to Claim 9 or 10, with at least one electric linear motor (130) for moving pistons of the reciprocating piston compressor (100).
12. Multi-stage reciprocating piston compressor (100) according to one of Claims 9 to 11, with a computing unit (170) according to Claim 8.

Revendications

1. Procédé, destiné à comprimer un gaz à l'aide d'un compresseur à pistons (100) multi-étagé, un premier trajet de convoyage (161) vers une entrée de gaz d'un premier étage de compression (110), pourvu d'une première soupape (151) et un deuxième trajet de convoyage (162) vers une entrée de gaz d'un deuxième étage de compression (120), pourvu d'une deuxième soupape (152) étant prévus, lorsqu'une pression d'entrée du premier étage de compression (110) dépasse une valeur seuil, le gaz étant dérivé au moins en partie du premier étage de compression (110) et étant amené vers le deuxième étage de compression (120) qui fait directement suite au premier étage de compression (110).
2. Procédé selon la revendication 1, par ailleurs une course (h_1) d'un piston du compresseur à pistons (100) qui est associé au premier étage de compression (110) étant réduite.
3. Procédé selon la revendication 2, la course (h_1) étant réduite en fonction d'une pression résiduelle après une rétro-expansion dans le premier étage de compression (110) et/ou d'une pression d'entrée du deuxième étage de compression (120).
4. Procédé selon la revendication 3, la réduction de la course (h_1) étant déterminée à l'aide de valeurs sauvegardées pour la pression résiduelle et/ou pour la pression d'entrée du deuxième étage de compression (120).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le gaz étant dérivé du premier étage de compression (110) et amené vers le deuxième étage de compression (120) en ce qu'on ferme au moins en partie une première soupape (151) dans un premier trajet de convoyage (161) vers le premier étage de compression (110) et on ouvre au moins en partie une deuxième soupape (152) dans un deuxième trajet de convoyage (162), du premier trajet de convoyage (161) vers le deuxième étage de compression (120).
6. Procédé selon la revendication 5, en tant que première soupape (151) étant utilisée une soupape d'admission du premier étage de compression.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, au moins un moteur électrique linéaire (130) étant utilisé pour déplacer des pistons dans le compresseur à pistons (100).
8. Unité de calcul (170) qui est aménagée pour réaliser un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.
9. Compresseur à pistons (100) multi-étagé, pourvu d'une entrée de gaz, d'un premier étage de compression (110) et d'un deuxième étage de compression (120), pourvu d'un premier trajet de convoyage (161) vers une entrée de gaz du premier étage de compression (110) et d'un deuxième trajet de convoyage (162) qui dérive du premier trajet de convoyage (161) et qui mène vers une entrée de gaz du deuxième étage de compression (120) et dans le deuxième trajet de convoyage (162) étant prévue une deuxième soupape (152), **caractérisé en ce que** dans le premier trajet de convoyage (161) est placée une première soupape (151) et **en ce que** le deuxième trajet de convoyage (162) dérive du premier trajet de convoyage (161) à l'avant de ladite première soupape (151).
10. Compresseur à pistons (100) multi-étagé selon la revendication 9, la première soupape (151) étant conçue sous la forme de soupape d'admission du premier étage de compression.
11. Compresseur à pistons (100) multi-étagé selon la revendication 9 ou 10, pourvu d'au moins un moteur électrique linéaire (130), destiné à déplacer des pistons du compresseur à pistons (100).
12. Compresseur à pistons (100) multi-étagé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, pourvu d'une unité de calcul (170) selon la revendication 8.

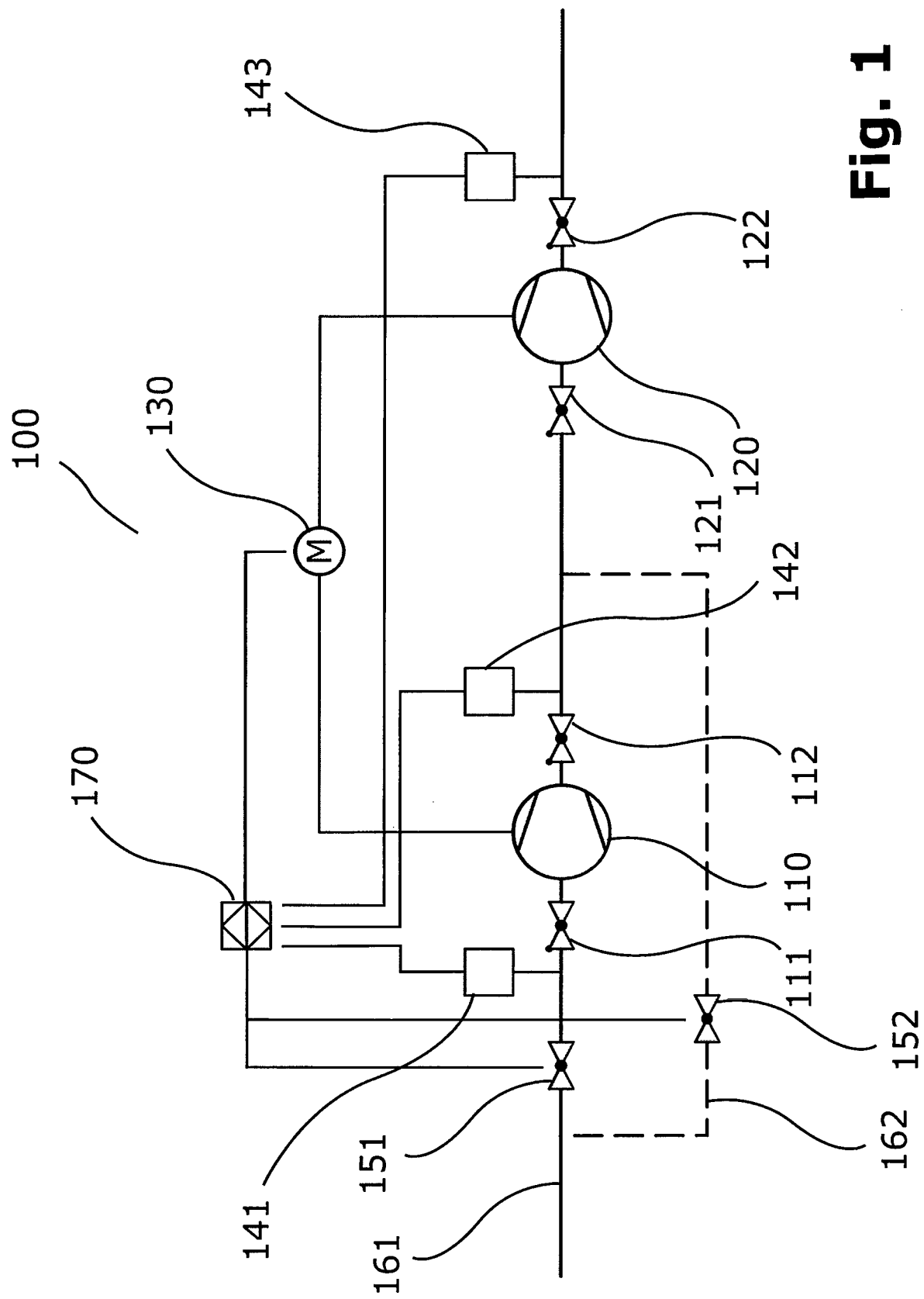


Fig. 1

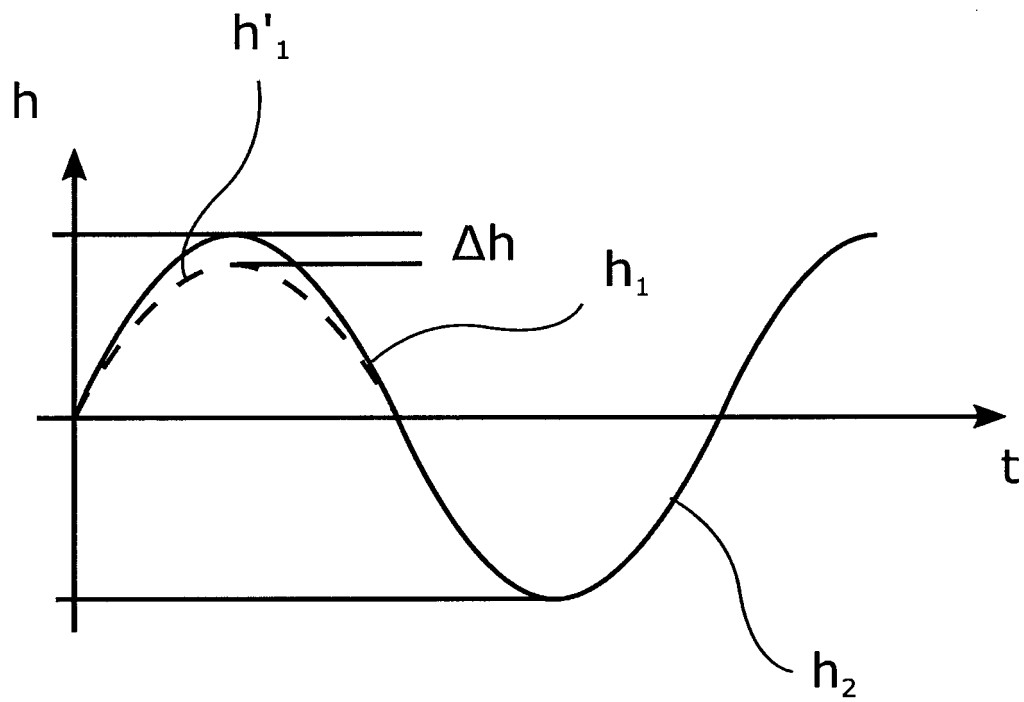


Fig. 2

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

- US 4236876 A [0002]