



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.10.2018 Patentblatt 2018/42

(21) Anmeldenummer: **18164785.0**

(22) Anmeldetag: **28.03.2018**

(51) Int Cl.:
F04C 28/02 ^(2006.01) **F04C 28/06** ^(2006.01)
F04C 28/08 ^(2006.01) **F04C 28/24** ^(2006.01)
F04B 41/06 ^(2006.01) **F04B 49/20** ^(2006.01)
F04C 18/16 ^(2006.01)

(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

(30) Priorität: **10.04.2017 DE 102017107601**

(71) Anmelder: **Gardner Denver Deutschland GmbH**
97616 Bad Neustadt (DE)

(72) Erfinder: **THOMES, Ulrich**
55471 Kütz (DE)

(74) Vertreter: **Engel, Christoph Klaus**
PATENTSCHUTZengel
Marktplatz 6
98527 Suhl (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES SCHRAUBENVERDICHTERS**

(57) Die Offenbarung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Schraubenverdichters mit mindestens einer ersten und einer zweiten Verdichterstufe, wobei beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind. Offenbarungsgemäß werden folgende Schritte ausgeführt: Erfassen eines am Ausgang der zweiten Verdichterstufe abgenommenen Volumenstroms; Anpassen der Drehzahl beider Verdichterstufen, wenn der abgenommene Volumenstrom in einem Bereich zwischen einem Maximalwert und einem Minimalwert schwankt; Öffnen eines Abblasventils, wenn der Volumenstrom den Minimalwert unterschreitet; Reduzieren der Drehzahl mindestens der ersten Verdichterstufe auf eine vorbestimmte Leerlaufdrehzahl (V_{1L}), um den von der ersten an die zweite Verdichterstufe gelieferten Volumenstrom zu reduzieren.

Die Offenbarung betrifft auch einen Kompressor mit einem Schraubenverdichter, der mindestens eine erste und eine zweite Verdichterstufe umfasst, wobei beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind, und wobei eine Steuereinheit vorgesehen ist, welche zur Ausführung des vorgenannten Verfahrens konfiguriert ist.

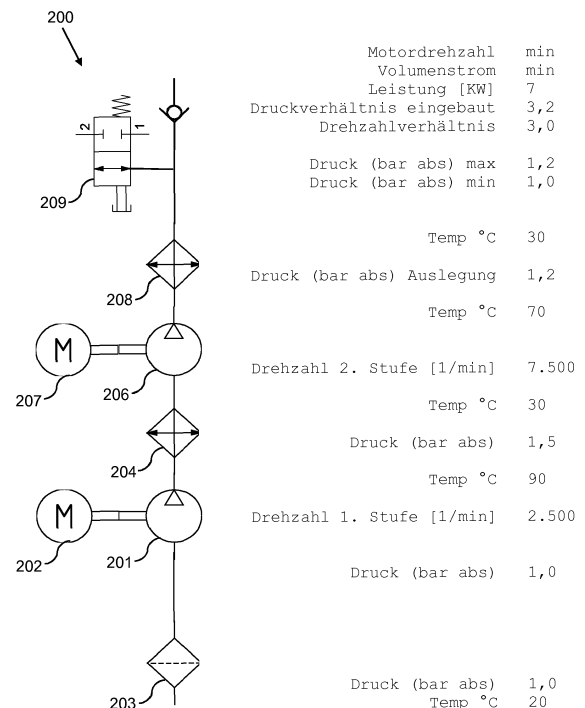


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Schraubenverdichters, insbesondere eines Doppelschraubenverdichters im Leerlaufbetrieb. Ein solcher Schraubenverdichter besitzt mindestens eine erste und eine zweite Verdichterstufe, wobei die erste Verdichterstufe ein gasförmiges Medium, üblicherweise Luft, komprimiert und an die zweite Verdichterstufe führt, welche das Medium weiter komprimiert und an ein nachgeordnetes System abgibt. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich zur Steuerung von direkt angetriebenen Schraubenverdichtern, bei denen beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind. Die Erfindung betrifft außerdem einen Kompressor mit einem Doppelschraubenverdichter, der durch dieses Verfahren im Leerlaufbetrieb gesteuert wird.

[0002] Zur Kompression von gasförmigen Medien, insbesondere zur Erzeugung von Druckluft sind unterschiedlichste Bauformen von Kompressoren bekannt. Beispielsweise zeigt die DE 601 17 821 T2 einen Mehrstufen-Schraubenverdichter mit zwei oder mehr Verdichterstufen, wobei jede Verdichterstufe ein Paar von Rotoren zum Verdichten eines Gases umfasst. Weiterhin sind zwei oder mehr Antriebsmittel mit veränderbarer Geschwindigkeit vorgesehen, wobei jedes Antriebsmittel eine jeweilige Verdichterstufe antreibt. Eine Steuereinheit steuert die Geschwindigkeiten der Antriebsmittel, wobei das Drehmoment und die Geschwindigkeit jedes Antriebsmittels überwacht wird, sodass der Schraubenverdichter Gas bei einer geforderten Strömungslieferrate und bei einem geforderten Druck bereitstellt und gleichzeitig der Energieverbrauch des Schraubenverdichters minimiert werden soll.

[0003] Im praktischen Einsatz solcher mehrstufigen Schraubenverdichter tritt der sogenannte Leerlauf als ein Betriebszustand auf. Dabei wird von dem nachgeordneten System keine Druckluft abgenommen, sodass zur Vermeidung einer Drucküberhöhung das Fördern weiteren Mediums eingestellt werden muss. Dennoch soll der Kompressor im Leerlauf nicht vollständig abgeschaltet werden, wenn mit einem kurzfristig wieder erforderlichen Nachliefern von Druckluft gerechnet werden muss. Um diesen Leerlaufbetrieb zu ermöglichen, wird gewöhnlich eine Drosselklappe in der Saugleitung geschlossen und über einen Bypass nur noch ein Teilstrom der ersten Verdichterstufe zugeführt. Diese Funktionen übernimmt zumeist ein sogenannter Ansaugregler, der am Einlass der ersten Verdichterstufe angeordnet ist. Gleichzeitig öffnet auf der Ausgangsseite, also am Ausgang der zweiten Verdichterstufe ein Abblasventil zur Atmosphäre, sodass die zweite Verdichterstufe gegen Atmosphärendruck fördert. Die Druckverhältnisse in beiden Verdichterstufen bleiben gleich, wodurch auch die Austrittstemperaturen beider Stufen nahezu gleich bleiben. Nachteilig ist an dieser Leerlaufregelung der relativ hohe Energieverbrauch des Verdichters. Außerdem

besteht ein hoher konstruktiver Aufwand für den Ansaugregler und dessen Steuerung. (vgl. Konka, K.-H., Schraubenkompressoren: Technik und Praxis, VDI-Verlag 1988, ISBN 3-18-400819-3, Seite 332 ff.)

[0004] In der DE 100 03 869 C5 ist ein Verfahren zum Komprimieren von fluiden Fördermedien in einer Schraubenverdichteranlage mit zwei Schraubenverdichtereinheiten beschrieben. Dabei ist der Auslass der vorgeschalteten Schraubenverdichtereinheit mit dem Einlass der nachgeschalteten Schraubenverdichtereinheit verbunden und jede Schraubenverdichtereinheit wird von einem eigenen Antriebsaggregat angetrieben. Zumindest ein Teil der Arbeitsparameter der zwei Schraubenverdichtereinheiten werden erfasst und verarbeitet und die Antriebsaggregate werden über die erfassten Arbeitsparameter der Schraubenverdichtereinheiten gesteuert. Mittels der Änderung der Arbeitsparameter der Antriebsaggregate, insbesondere Stromaufnahme, Spannungsaufnahme oder Kraftstoffzufuhr wird die Drehzahl der vorgeschalteten Schraubenverdichtereinheit mit der Drehzahl der nachgeschalteten Schraubenverdichtereinheit derart korreliert, dass der End-Auslassdruck oder die End-Fördermenge der Schraubenverdichteranlage konstant gehalten wird, und/oder die Gesamtleistungsaufnahme der Schraubenverdichteranlage minimiert wird, oder bei vorgegebener Gesamtleistungsaufnahme ein maximaler End-Auslassdruck bzw. ein maximales End-Fördervolumen erreicht wird. Zur Optimierung des Betriebs im Leerlauf des Systems und zu einer daraus resultierenden Energieeinsparung gibt dieses Steuerverfahren jedoch keine Auskünfte.

[0005] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, ein verbessertes Verfahren zur Steuerung eines Doppelschraubenverdichters bereitzustellen, welches einen sicheren Leerlaufbetrieb unter gleichzeitiger Reduzierung des Energieverbrauchs des Verdichters gestattet. Außerdem soll der konstruktive Aufwand des kompletten Schraubenverdichters reduziert werden, woraus eine Kostenreduzierung bei dessen Herstellung ableitbar sein soll.

[0006] Diese und weitere Aufgaben werden durch ein Verfahren zur Steuerung eines Schraubenverdichters gemäß dem beigefügten Anspruch 1 gelöst. Die Unteransprüche nennen einige bevorzugte Ausführungsformen. Darüber hinaus stellt die Erfindung einen Kompressor in der Art eines Doppelschraubenverdichters bereit, der mit diesem Verfahren betrieben werden kann.

[0007] Es hat sich überraschender Weise gezeigt, dass durch eine veränderte Ansteuerung der direkt angetriebenen Verdichterstufen des Schraubenverdichters im Leerlaufbetrieb sowohl eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs als auch eine Vereinfachung des Aufbaus der Gesamtanlage erreichbar sind.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Steuerung eines Schraubenverdichters mit mindestens einer ersten und einer zweiten Verdichterstufe, wobei die erste Verdichterstufe ein gasförmiges Medium komprimiert und an die zweite Verdichterstufe führt, welche das

Medium weiter komprimiert. Die erste Verdichterstufe liegt also in Strömungsrichtung des Mediums gesehen vor der zweiten Verdichterstufe. In den meisten Fällen besitzen solche Schraubenverdichter genau zwei Verdichterstufen, jedoch sind auch Bauformen mit mehr als zwei Stufen möglich. Weiterhin ist es für die Ausführung des Verfahrens erforderlich, dass beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind, d. h. jede Verdichterstufe wird von einem drehzahlregelbaren Antrieb angetrieben, insbesondere von einem Direktantrieb, sodass auf ein Verteilergetriebe verzichtet werden kann.

[0009] In einem ersten Schritt des Verfahrens wird ein Volumenstrom des komprimierten gasförmigen Mediums, welches am Ausgang der zweiten Verdichterstufe abgenommen bzw. an nachfolgende Einheiten abgegeben wird, mit einem geeigneten Geber erfasst. Dabei kann eine direkte Volumenstrommessung zum Einsatz kommen oder der abgenommene Volumenstrom wird indirekt z. B. aus den am Ausgang der zweiten Verdichterstufe herrschenden Druckverhältnissen oder aus dem am Antrieb der zweiten Verdichterstufe auftretenden Drehmoment / Antriebsstrom ermittelt.

[0010] Im normalen Lastbetrieb wird ein Volumenstrom abgenommen, der zwischen einem Maximalwert, für welchen der Schraubenverdichter ausgelegt ist, und einem vorbestimmten Minimalwert schwanken kann. In diesem Lastbetrieb wird der Schraubenverdichter in an sich bekannter Weise geregelt, wozu auch gehört, dass die Drehzahl der Antriebe der beiden Verdichterstufen in einem vorgegebenen Bereich variiert werden kann. Wenn im Lastbetrieb der abgenommene Volumenstrom in einem Bereich zwischen einem Maximalwert und einem vorbestimmten Minimalwert sinkt, reduziert die Steuerung die Drehzahl beider Verdichterstufen, und wenn der Volumenstrom in diesem Bereich wieder ansteigt, erhöht die Steuerung die Drehzahl der Verdichterstufen wieder, sodass im normalen Lastbetrieb ein vorbestimmter Ausgangsdruck beibehalten wird.

[0011] Wenn hingegen der Volumenstrom den vorbestimmten Minimalwert unterschreitet, d. h. es wird kein oder nur ein sehr geringer Volumenstrom abgenommen, wechselt der Betriebszustand des Schraubenverdichters vom Lastbetrieb in den Leerlaufbetrieb. Dazu wird im nächsten Schritt des Verfahrens ein Abblasventil geöffnet, um den von der zweiten Verdichterstufe zunächst weiterhin gelieferten Volumenstrom über das Abblasventil zumindest teilweise austreten zu lassen. Damit wird verhindert, dass der Druck am Ausgang des Schraubenverdichters eine maximal zulässige Größe überschreitet. Das Abblasventil kann beispielsweise ein gesteuertes Magnetventil sein.

[0012] In einem weiteren Schritt, der vorzugsweise mit nur geringer Verzögerung oder im Wesentlichen gleichzeitig mit dem Öffnen des Abblasventils ausgeführt wird, wird die Drehzahl mindestens der ersten Verdichterstufe auf eine vorbestimmte Leerlaufdrehzahl $V1_L$ reduziert, um den von der ersten an die zweite Verdichterstufe ge-

lieferten Volumenstrom zu reduzieren. Abweichend zum Stand der Technik wird dafür gerade nicht eine Drosselklappe bzw. ein Ansaugregler geschlossen. Vielmehr bleibt der Einlass der ersten Verdichterstufe vollständig geöffnet. Eine Drosselklappe bzw. ein Ansaugregler und deren Ansteuerung können vollständig entfallen. Die Reduzierung des von der ersten Verdichterstufe geförderten Volumenstroms erfolgt bevorzugt ausschließlich über die Reduktion der Drehzahl der ersten Verdichterstufe auf die Leerlaufdrehzahl $V1_L$.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird in einem nächsten Schritt auch die Drehzahl der zweiten Verdichterstufe auf eine Leerlaufdrehzahl $V2_L$ reduziert. Vorzugsweise werden die Drehzahlen beider Verdichterstufen im Wesentlichen parallel laufend jeweils bis auf die Leerlaufdrehzahl $V1_L$ bzw. $V2_L$ reduziert.

[0014] Die Leerlaufdrehzahl $V1_L$ der ersten Verdichterstufe (Low Pressure - LP) wird in Abstimmung mit der Leerlaufdrehzahl $V2_L$ der zweiten Verdichterstufe (High Pressure - HP) so gewählt, dass die Austrittstemperatur des Mediums an der zweiten Stufe nicht kleiner als die Eintrittstemperatur an dieser Stufe wird. Eine solche ungewollte Betriebsbedingung kann eintreten, wenn das Druckverhältnis an der zweiten Verdichterstufe kleiner als 0,6 wird. Durch die Wahl der Leerlaufdrehzahlen ist daher sicherzustellen, dass die zweite Stufe nicht als "Expander" arbeitet und die Medientemperatur dadurch sinkt. Andernfalls kann es zu einer unerwünschten Kondensation im Verdichter kommen. Weiterhin ist bei der Wahl der Leerlaufdrehzahlen sicherzustellen, dass die zweite Verdichterstufe nicht über das transportierte Medium von der ersten Verdichterstufe angetrieben wird, da andernfalls der Antrieb der zweiten Stufe in den Generatorbetrieb wechseln würde, was zu einer Schädigung des diesen ansteuernden Frequenzumrichters führen könnte.

[0015] Die minimalen Leerlaufdrehzahlen werden auch dadurch bestimmt, welche Verzögerung beim Wiedereintritt in den Lastzustand hinnehmbar ist. Um so kürzer diese Rückkehrzeit sein muss, desto höher wird die Leerlaufdrehzahl zu wählen sein.

[0016] Vorzugsweise liegt das Drehzahlverhältnis im Leerlauf zwischen zweiter und erster Stufe im Bereich 2 bis 3, besonders bevorzugt etwa 2,5. Das Druckverhältnis der ersten Stufe liegt dabei bei etwa 1,5 und das Druckverhältnis der zweiten Stufe liegt etwa im Bereich von 0,6 bis 0,75. Bevorzugt beträgt die Leerlaufdrehzahl $V2_L$ der zweiten Verdichterstufe etwa 1/2 bis 1/4 der Lastdrehzahl dieser Stufe. Bevorzugt beträgt die Leerlaufdrehzahl $V1_L$ der ersten Verdichterstufe etwa 1/5 bis 1/8 der Lastdrehzahl dieser Stufe.

[0017] Ein Vorteil dieses Steuerverfahrens besteht somit darin, dass beide Verdichterstufen im Leerlaufbetrieb mit deutlich niedrigeren Drehzahlen betrieben werden können. Dies reduziert den Energieverbrauch und den Verschleiß. Außerdem sinken die Temperaturen des komprimierten Mediums am Auslass der jeweiligen Verdichterstufe, was sich ebenfalls vorteilhaft auswirkt. Den-

noch kann der Schraubenverdichter bei erneuter Anforderung von Volumenstrom sehr schnell zurück in den Lastbetrieb gebracht werden, indem die Drehzahlen der Verdichterstufen wieder hochgefahren werden.

[0018] Der von der Erfindung bereitgestellte Kompressor zur Verdichtung von gasförmigen Medien umfasst einen Schraubenverdichter, welcher mindestens eine erste und eine zweite Verdichterstufe besitzt, wobei die erste Verdichterstufe das gasförmige Medium komprimiert und an die zweite Verdichterstufe führt, welche das Medium weiter komprimiert, und wobei beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind. Der Kompressor umfasst weiterhin eine Steuereinheit, welche zur Ausführung des zuvor beschriebenen Verfahrens konfiguriert ist.

[0019] Insbesondere zeichnet sich der Kompressor dadurch aus, dass der Einlass der strömungstechnisch vorderen, ersten Verdichterstufe ohne ein den Volumenstrom begrenzendes, steuerbares Drosselement bzw. ohne einen Ansaugregler an die Umgebungsatmosphäre geführt ist. Der Kompressor besitzt am Auslass der strömungstechnisch hinteren, zweiten Verdichterstufe ein Abblasventil, welches von der Steuereinheit zum Öffnen veranlasst wird, wenn der abgenommene Volumenstrom einen vorbestimmten Minimalwert unterschreitet.

[0020] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine vereinfachte Darstellung der Betriebsparameter in einem Schraubenverdichter mit zwei Verdichterstufen während des Lastbetriebs;

Fig. 2 eine vereinfachte Darstellung der Betriebsparameter in dem Schraubenverdichter während des Leerlaufbetriebs.

[0021] Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Kompressors, der als ein Doppelschraubenverdichter 200 ausgebildet ist. Neben den einzelnen Elementen des Doppelschraubenverdichters sind außerdem typische Parameter angegeben, wie sie im Lastbetrieb auftreten, wenn Druckluft mit einem Volumenstrom oberhalb eines vorbestimmten Minimalwertes und nicht größer als ein anlagenspezifischer Maximalwert abgefordert wird.

[0022] Eine erste Verdichterstufe 201 besitzt einen ersten Direktantrieb 202, der drehzahl geregelt ist. Der Einlass der ersten Verdichterstufe 201, über welchen Umgebungsluft angesaugt wird, ist ohne Zwischenschaltung eines Ansaugreglers direkt an einen Ansaugstutzen 203 gekoppelt, an welchem Umgebungsatmosphäre mit einem Druck von 1,0 bar bei einer Temperatur von z. B. 20°C anliegt. Am Einlass der ersten Verdichterstufe 201 liegt somit ein Druck von 1,0 bar an.

[0023] Die erste Verdichterstufe 201 wird z. B. mit einer Drehzahl von 15.500 min⁻¹ betrieben, um die Luft zu komprimieren. Am Auslass der ersten Verdichterstufe 201

herrscht dann ein Druck von 3,2 bar, sodass die erste Verdichterstufe im Lastbetrieb ein Verdichtungsverhältnis von 3,2 aufweist. Durch die Kompression erhöht sich die Temperatur des Mediums (Druckluft) auf 170°C. Die Druckluft wird vom Auslass der ersten Verdichterstufe 201 über einen Zwischenkühler 204 zum Einlass einer zweiten Verdichterstufe 206 geführt, welche einen zweiten, drehzahl geregelten Direktantrieb 207 besitzt. Nach dem Zwischenkühler 204, am Einlass der zweiten Verdichterstufe 206, besitzt die Druckluft eine Temperatur von beispielsweise 30°C und weiterhin einen Druck von 3,2 bar. Im Lastbetrieb wird die zweite Verdichterstufe 206 mit einer Drehzahl von z. B. 22.000 min⁻¹ betrieben, sodass es zu einer weiteren Kompression kommt. Die Druckluft besitzt demzufolge am Auslass der zweiten Verdichterstufe 206 einen Druck von 10,2 bar und eine Temperatur von 180°C. Die zweite Verdichterstufe weist somit ein Kompressionsverhältnis ebenfalls von etwa 3,2 auf. Die Druckluft wird vom Auslass der zweiten Verdichterstufe 206 durch einen Nachkühler 208 geführt und dort auf etwa 35°C abgekühlt. Schließlich ist am Ausgang des Doppelschraubenverdichters 200 ein Abblasventil 209 angeordnet, welches von einer Steuereinheit (nicht dargestellt) angesteuert wird.

[0024] Der beispielhaft beschriebene Doppelschraubenverdichter 200 zeigt bei maximaler Drehzahl der Direktantriebe 202, 207 eine Leistungsaufnahme von 150 kW und liefert Druckluft mit einem maximalen Druck von 12 bar und minimalem Druck von 6 bar. Das Drehzahlverhältnis zwischen den Verdichterstufen beträgt im Lastbetrieb etwa 1,4.

[0025] Fig. 2 zeigt den Doppelschraubenverdichter 200 im Leerlaufbetrieb, d.h. wenn im Wesentlichen keine Druckluft abgenommen wird. Neben den Elementen des Doppelschraubenverdichters sind wiederum typische Parameter angegeben, wie sie im Leerlaufbetrieb auftreten. Um in den Leerlaufbetrieb einzutreten, wird das Abblasventil geöffnet und die Drehzahl beider Verdichterstufen wird reduziert. Der Einlass der ersten Verdichterstufe 201, über welchen weiterhin Umgebungsluft angesaugt wird, wenn auch in reduzierter Menge, ist weiterhin ohne Zwischenschaltung eines Ansaugreglers direkt an den Ansaugstutzen 203 gekoppelt, an welchem Umgebungsatmosphäre mit einem Druck von 1,0 bar bei einer Temperatur von 20°C anliegt. Am Einlass der ersten Verdichterstufe 201 liegt somit unverändert ein Druck von 1,0 bar an.

[0026] Die erste Verdichterstufe 201 wird nun mit einer Leerlaufdrehzahl $V_{1L} = 2.500 \text{ min}^{-1}$ betrieben, um die Luft zu komprimieren. Am Auslass der ersten Verdichterstufe 201 herrscht dann ein Druck von 1,5 bar, sodass die erste Verdichterstufe im Leerlaufbetrieb ein Verdichtungsverhältnis von 1,5 aufweist. Durch die verringerte Kompression erhöht sich die Temperatur des Mediums (Druckluft) nur noch auf 90°C. Die Druckluft wird vom Auslass der ersten Verdichterstufe 201 über den Zwischenkühler 204 zum Einlass der zweiten Verdichterstufe 206 geführt. Nach dem Zwischenkühler 204, am Ein-

lass der zweiten Verdichterstufe 206, besitzt die Druckluft im Leerlauf eine Temperatur von beispielsweise 30°C und weiterhin einen Druck von 1,5 bar (Zwischendruck). Die nötige Kühlleistung für die Zwischenkühlung ist somit im Leerlaufbetrieb verringert. Im Leerlaufbetrieb wird die zweite Verdichterstufe 206 mit einer Leerlaufdrehzahl V_{2L} von 7.500 min⁻¹ betrieben. Die Druckluft besitzt am Auslass der zweiten Verdichterstufe 206 einen gegenüber dem Zwischendruck verringerten Druck von etwa 1,2 bar und eine Temperatur von 70°C. Die zweite Verdichterstufe weist somit ein Kompressionsverhältnis von etwa 0,8 auf (Expansion). Die Druckluft wird vom Auslass der zweiten Verdichterstufe 206 durch den Nachkühler 208 geführt und dort auf etwa 30°C abgekühlt.

[0027] Der beispielhaft beschriebene Doppelschraubenverdichter 200 zeigt im Leerlaufbetrieb eine Leistungsaufnahme von 7 kW und liefert einen maximalen Druck von 1,2 bar. Das Drehzahlverhältnis zwischen den Verdichterstufen beträgt etwa 3.

Bezugszeichenliste

[0028]

200	Doppelschraubenverdichter
201	erste Verdichterstufe
202	erster Direktantrieb
203	Ansaugstutzen
204	Zwischenkühler
205	-
206	zweite Verdichterstufe
207	zweiter Direktantrieb
208	Nachkühler
209	Abblasventil

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Schraubenverdichters mit mindestens einer ersten und einer zweiten Verdichterstufe, wobei die erste Verdichterstufe ein gasförmiges Medium komprimiert und an die zweite Verdichterstufe führt, welche das Medium weiter komprimiert, und wobei beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind, folgende Schritte umfassend:

- Erfassen eines am Ausgang der zweiten Verdichterstufe abgenommenen Volumenstroms des komprimierten Mediums;
- Anpassen der Drehzahl beider Verdichterstufen, wenn der abgenommene Volumenstrom in einem Bereich zwischen einem Maximalwert und einem vorbestimmten Minimalwert schwankt, unter Beibehaltung eines vorbestimmten Ausgangsdrucks;
- Öffnen eines Abblasventils, wenn der Volumenstrom den vorbestimmten Minimalwert un-

terschreitet, um den von der zweiten Verdichterstufe gelieferten Volumenstrom über das Abblasventil zumindest teilweise austreten zu lassen;

- weiteres Reduzieren der Drehzahl mindestens der ersten Verdichterstufe auf eine vorbestimmte Leerlaufdrehzahl (V_{1L}), um den von der ersten an die zweite Verdichterstufe gelieferten Volumenstrom zu reduzieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Reduzieren der Drehzahl der ersten Verdichterstufe die Leerlaufdrehzahl (V_{1L}) gleichzeitig mit dem Öffnen des Abblasventils erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem weiteren Schritt die Drehzahl der zweiten Verdichterstufe auf eine vorbestimmte Leerlaufdrehzahl (V_{2L}) reduziert wird, solange der abgenommene Volumenstrom den vorbestimmten Minimalwert unterschreitet.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung der Drehzahl der Verdichterstufen durch Drehzahlregelung von zwei Direktantrieben erfolgt, welche die jeweilige Verdichterstufe antreiben.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der abgenommene Volumenstrom mittelbar aus der Leistungsaufnahme mindestens einer der beiden Verdichterstufen bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehzahlen der beiden Verdichterstufen erhöht werden, sobald der abgenommene Volumenstrom des komprimierten Mediums über dem vorbestimmten Minimalwert liegt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis Leerlaufdrehzahl (V_{2L}) der zweiten Verdichterstufe : Leerlaufdrehzahl (V_{1L}) der ersten Verdichterstufe im Bereich 2 bis 3 liegt.
8. Kompressor mit einem Schraubenverdichter, der mindestens eine erste und eine zweite Verdichterstufe umfasst, wobei die erste Verdichterstufe ein gasförmiges Medium komprimiert und an die zweite Verdichterstufe führt, welche das Medium weiter komprimiert, und wobei beide Verdichterstufen getrennt voneinander und drehzahlregelbar angetrieben sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kompressor weiterhin eine Steuereinheit umfasst, welche zur Ausführung eines Verfahrens gemäß einem

der Ansprüche 1 bis 6 konfiguriert ist.

9. Kompressor nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlass der strömungstechnisch vorderen, ersten Verdichterstufe ohne ein den Volumenstrom begrenzendes, steuerbares Drosselement an die Umgebungsatmosphäre geführt ist. 5
10. Kompressor nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Auslass der strömungstechnisch hinteren, zweiten Verdichterstufe ein Abblasventil angeordnet ist, welches von der Steuereinheit zum Öffnen veranlasst wird, wenn der abgenommene Volumenstrom einen vorbestimmten Minimalwert unterschreitet. 10
15

20

25

30

35

40

45

50

55

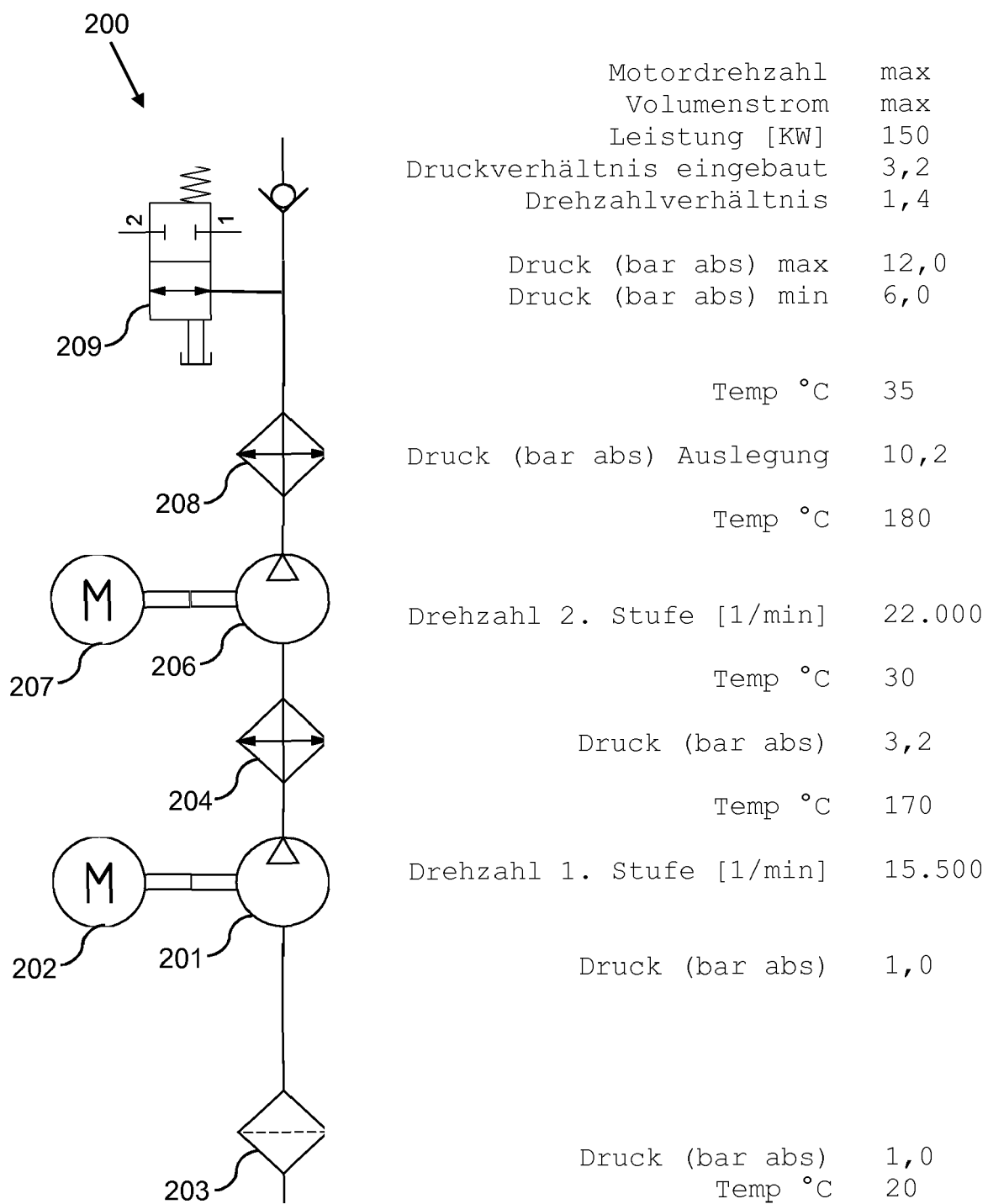


Fig. 1

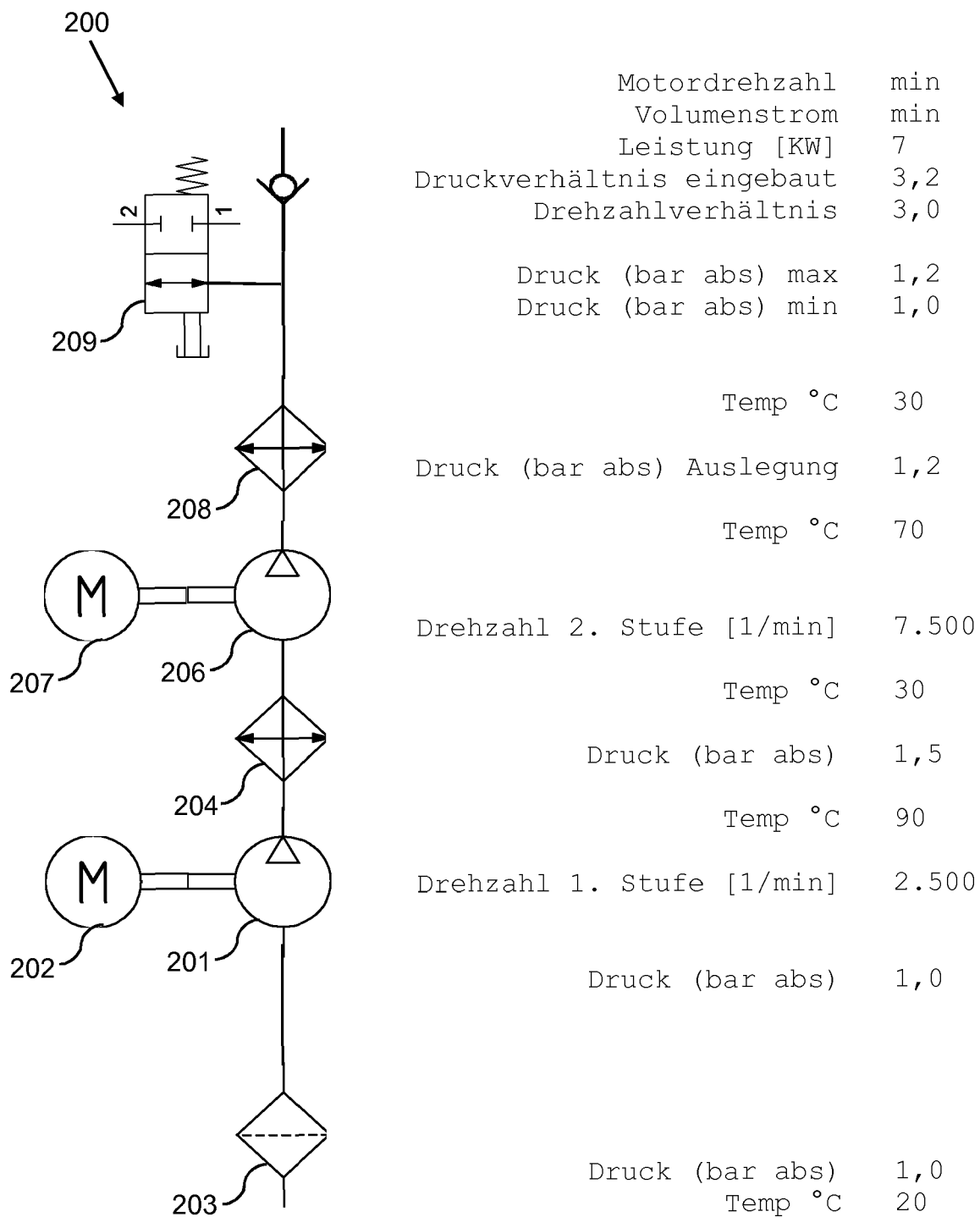


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 16 4785

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	WO 2011/130807 A2 (ATLAS COPCO AIRPOWER NV [BE]; HUBERLAND FILIP GUSTAAF M [BE]; JANSSENS) 27. Oktober 2011 (2011-10-27) * das ganze Dokument * * Seite 1, Zeile 18 - Zeile 23 * * Seite 2, Zeile 18 - Zeile 20 * * Seite 3, Zeile 16 - Zeile 21 * * Seite 4, Zeile 30 - Seite 5, Zeile 10 * * Seite 5, Zeile 28 - Seite 6, Zeile 11 * * Seite 8, Zeile 14 - Zeile 18 * * Seite 15, Zeile 5 - Zeile 19 * * Anspruch 1; Abbildung 2 * -----	1-10	INV. F04C28/02 F04C28/06 F04C28/08 F04C28/24 F04B41/06 F04B49/20 F04C18/16
Y,D	DE 100 03 869 A1 (AERZENER MASCHF GMBH) 16. August 2001 (2001-08-16) * das ganze Dokument * * Abbildung 2 * * Spalte 2, Zeile 7 - Zeile 14 * * Spalte 2, Zeile 16 * * Spalte 2, Zeile 34 - Zeile 36 * * Spalte 2, Zeile 50 - Zeile 57 * * Spalte 2, Zeile 64 - Zeile 68 * * Spalte 3, Zeile 15 - Zeile 31 * * Spalte 3, Zeile 44 - Zeile 46 * * Spalte 4, Zeile 64 - Spalte 5, Zeile 32 * -----	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04C F04B F01C
Y	US 2007/189905 A1 (DINSDALE BRITTON D [US] ET AL) 16. August 2007 (2007-08-16) * das ganze Dokument * * Absatz [0033] * * Absätze [0050], [0052] * * Absatz [0066] * -----	1-10	
3 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 22. August 2018	Prüfer Sbresny, Heiko
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 18 16 4785

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.

22-08-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	WO 2011130807 A2	27-10-2011	AU 2011242422 A1 BE 1019299 A3 BR 112012027029 A2 CN 102918277 A DK 2561233 T3 EP 2561233 A2 JP 5715238 B2 JP 6058054 B2 JP 2013525665 A JP 2015143522 A RU 2012149137 A US 2013039737 A1 WO 2011130807 A2	08-11-2012 08-05-2012 19-07-2016 06-02-2013 06-08-2018 27-02-2013 07-05-2015 11-01-2017 20-06-2013 06-08-2015 27-05-2014 14-02-2013 27-10-2011
20	DE 10003869 A1	16-08-2001	KEINE	
25	US 2007189905 A1	16-08-2007	CN 101421519 A EP 1984628 A1 US 2007189905 A1 US 2016327049 A1 WO 2007095537 A1	29-04-2009 29-10-2008 16-08-2007 10-11-2016 23-08-2007
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 60117821 T2 [0002]
- DE 10003869 C5 [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **KONKA, K.-H.** Schraubenkompressoren: Technik und Praxis. VDI-Verlag, 1988, vol. 332 [0003]