

(19)



(11)

EP 3 511 569 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.07.2019 Patentblatt 2019/29

(51) Int Cl.:
F04B 15/08 ^(2006.01) **F04B 49/22** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18020012.3**

(22) Anmeldetag: **10.01.2018**

(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:
MA MD TN

(72) Erfinder:
 • **Adler, Robert**
2201 Gerasdorf (AT)
 • **Dorner, Sascha**
2440 Gramatneusiedl (AT)
 • **Nagl, Christoph**
2534 Alland (AT)
 • **Gruber, Sarah**
2380 Perchtoldsdorf (AT)

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR VERDICHTUNG EINES FLUIDS UND VERDICHTERBAUGRUPPE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verdichtung eines Fluids (F), wobei das Fluid (F) in einem ersten Verdichterraum (31) bereitgestellt wird, der mittels eines bewegbaren Kolbens (30) eines Verdichters (3) von einem zweiten Verdichterraum (32) getrennt ist, wobei mittels einer Pumpe (11) ein Hydraulikfluid (H) in den zweiten Verdichterraum (32) eingeleitet wird, so dass sich der Kolben (30) bewegt und das Fluid (F) in dem ersten Verdichterraum (31) verdichtet wird, wobei eine Pumpendrehzahl (n) der Pumpe (11) während der Verdichtung des Fluids (F) so gesteuert wird, dass das Produkt aus der Pumpendrehzahl (n) und einem Pumpenmoment (M) der Pumpe (11) konstant bleibt, wobei das Pumpenmoment (M) von dem in dem ersten Verdichterraum (31) herrschenden Druck (p) abhängt.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Verdichterbaugruppe (1), insbesondere zur Durchführung des erfindungsge-
 mäßigen Verfahrens.

Fig. 1

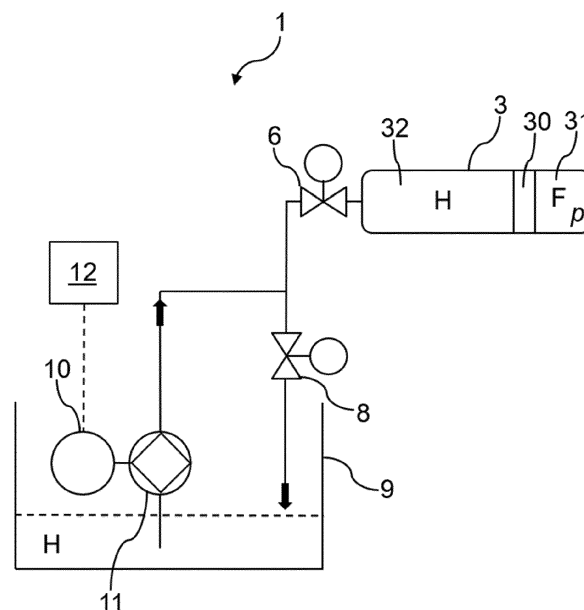
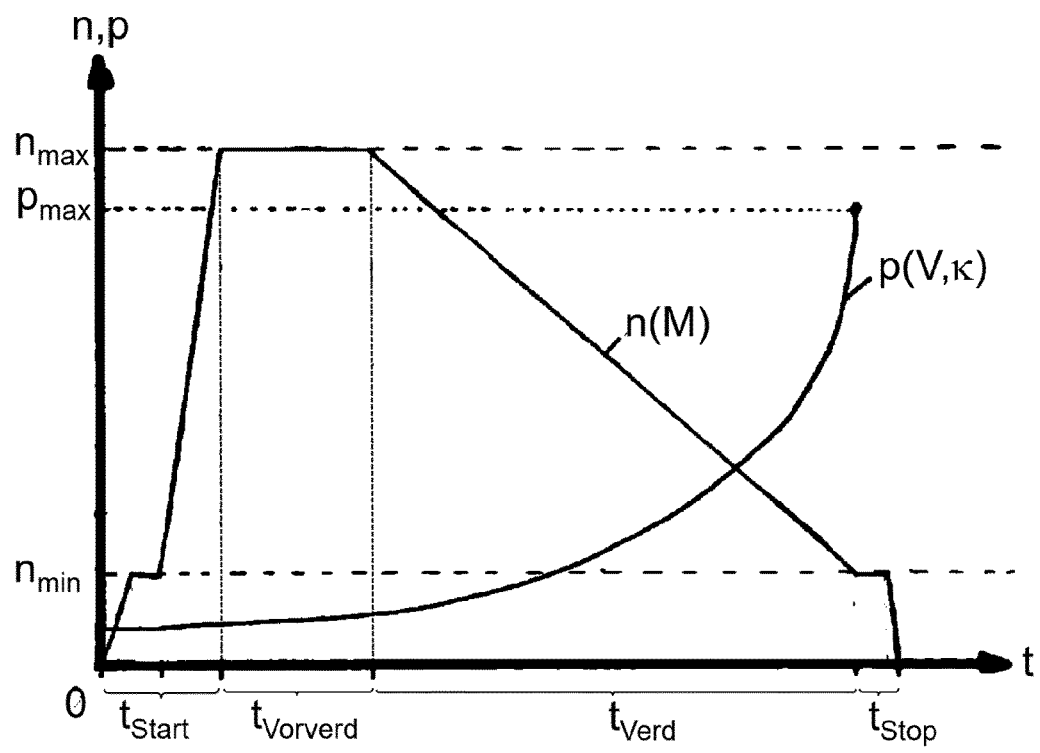


Fig. 2



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verdichtung eines Fluids sowie eine Verdichterbaugruppe, insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind z.B. hydraulisch angetriebene Verdichter (auch als Kolbenverdichter bezeichnet) bekannt. Diese weisen einen in dem Verdichter bewegbaren Kolben (auch als Trennerkolben bezeichnet) auf, der einen ersten Verdichterraum von einem zweiten Verdichterraum trennt. Ein Fluid, das in dem ersten Verdichterraum zur Verfügung gestellt wird, kann durch Einleiten eines Hydraulikfluids in den zweiten Verdichterraum mittels einer Hydraulikfluidpumpe (z.B. einer Axialkolbenmaschine, einer Radialkolbenmaschine oder einer Zahnradpumpe) und Bewegen des Kolbens durch das eingeleitete Hydraulikfluid verdichtet werden.

[0003] Nach dem Stand der Technik sind außerdem Fahrzeuge bekannt, die mit gasförmigen Treibstoffen, z. B. Wasserstoff, Erdgas oder Methan, antreibbar sind. Entsprechende Tankstellen für diese Treibstoffe sind ebenfalls bekannt.

[0004] Die Infrastruktur für solche Gastankstellen (z. B. Wasserstofftankstellen) ist aktuell in den meisten Regionen noch nicht so stark ausgebaut, dass sich der Umstieg für den Großteil der Bevölkerung ohne Nachteile ergeben würde. Heimbefüllsysteme für gasförmige Treibstoffe wie Wasserstoff nach dem Stand der Technik erlauben lediglich geringe Durchflussmengen, wodurch die Einhaltung herstellerspezifischer Vorgaben unter diesen Umständen nicht erfolgen würde.

[0005] Nach dem Stand der Technik bekannte Fluidverdichtungsverfahren mittels Hydraulikfluidpumpen (die das Hydraulikfluid durch rotierende bzw. sich bewegende Komponenten fördern) haben den Nachteil, dass die maximale Pumpleistung der Hydraulikfluidpumpe nicht ausgenutzt werden kann, da während des Verfahrens durch das verdichtete Fluid ein zu hoher Gegenstand auftritt.

[0006] Daher ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches bezüglich der zuvor genannten Nachteile des Standes der Technik verbessert ist.

[0007] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 sowie die Verdichterbaugruppe nach Anspruch 9 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 8 angegeben. Die Erfindung wird im Folgenden beschrieben.

[0008] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verdichtung eines Fluids, wobei das Fluid in einem ersten Verdichterraum bereitgestellt wird, der mittels eines bewegbaren Kolbens eines Verdichters von einem zweiten Verdichterraum getrennt ist, wobei mittels einer Pumpe ein Hydraulikfluid in den zweiten Verdichterraum eingeleitet wird, so dass sich der Kolben bewegt und das Fluid in dem ersten Verdichterraum unter Verringerung des Volumens des ersten Verdichterraums

verdichtet wird, wobei eine Pumpendrehzahl der Pumpe während der Verdichtung des Fluids so gesteuert, insbesondere verringert, wird, dass das mathematische Produkt aus der Pumpendrehzahl und einem Pumpenmoment der Pumpe konstant bzw. im Wesentlichen konstant bleibt, wobei das Pumpenmoment von dem in dem ersten Verdichterraum herrschenden Druck abhängt.

[0009] Als Pumpenmoment wird das Moment bezeichnet, welches der Verdichter einem die Pumpe antreibenden Motor entgegengesetzt. Dieses hängt (insbesondere linear) vom Gegendruck des Hydraulikfluids im zweiten Verdichterraum ab, wobei der Gegendruck des Hydraulikfluids im Gleichgewicht dem Druck des Fluids in dem ersten Verdichterraum entspricht.

[0010] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird das bei steigendem Gegendruck erhöhte Pumpenmoment durch eine Verringerung der Pumpendrehzahl kompensiert, so dass während des Verfahrens die Pumpenleistung bzw. die Förderleistung der Pumpe stets konstant bleibt. Damit kann die Verdichterförderleistung während eines Verdichterhubs (also einer Bewegung des Kolbens in dem Verdichter) stets auf einem Maximum gehalten werden. Mit anderen Worten: die Motordrehzahl und damit die Pumpendrehzahl wird stets auf einem Maximum (für den betreffenden Gegendruck) gehalten, wodurch das Leistungsmaximum des Motors im betreffenden Drehzahlpunkt auf einem Maximum gehalten wird. Im Vergleich zu Verdichtungsverfahren nach dem Stand der Technik kann somit die Verdichtungsdauer verkürzt werden, insbesondere in hydraulisch angetriebenen Systemen. Dies ist bei nur geringen Mehrkosten im Vergleich zu Systemen mit konstanter Drehzahl möglich.

[0011] Insbesondere erlaubt es das erfindungsgemäße Verfahren, am Anfang eines Verdichterhubs bei relativ geringem Gegendruck die Pumpe bei einer maximalen Pumpendrehzahl zu betreiben. Dies ermöglicht eine schnellere Verdichtung als bei Verfahren nach dem Stand der Technik, bei denen die Pumpendrehzahl während des gesamten Verdichterhubs auf einem konstanten geringeren Wert gehalten wird.

[0012] Das Fluid ist insbesondere ein Gas. Weiterhin kann das Fluid auch durch ein Flüssigkeits-Gas-Gemisch gebildet sein.

[0013] Die Pumpe weist zum Verdichten des Fluids eine mit einer Pumpendrehzahl rotierende bzw. sich bewegende Komponente oder Baugruppe auf. Z.B. kann die Pumpe als Axialkolbenmaschine, Radialkolbenmaschine oder Zahnradpumpe ausgebildet sein.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl während der Verdichtung des Fluids bezüglich der Zeit linear verringert. Auf diese Weise lässt sich bei einem Ansteigen des Gegendrucks entsprechend der Adiabatangleichung (bei Annahme einer isentropen Verdichtung) stets zumindest näherungsweise ein konstantes Produkt aus Pumpendrehzahl und Pumpenmoment erreichen.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird

die Pumpendrehzahl in einer Vorverdichtungsphase konstant gehalten, wobei die Pumpendrehzahl in einer sich an die Vorverdichtungsphase anschließenden Verdichtungsphase, insbesondere linear bezüglich der Zeit, verringert wird. In der ersten Phase der Verdichtung steigt der Druck des Fluids gemäß einer isentropen Verdichtung nur unwesentlich an. Daher ist es in dieser Phase möglich, die Pumpendrehzahl in dieser Phase konstant zu lassen. In der anschließenden Verdichtungsphase erfolgt ein stärkerer Anstieg des Gegendrucks, der durch die Verringerung der Pumpendrehzahl kompensiert wird.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform entspricht die Pumpendrehzahl in der Vorverdichtungsphase einer maximalen Pumpendrehzahl der Pumpe.

[0017] Die Pumpe ist dabei beim bestimmungsgemäßen Gebrauch dazu konfiguriert, höchstens bei der maximalen Pumpendrehzahl betrieben zu werden. Das heißt, bei Überschreiten der maximalen Pumpendrehzahl kann die Pumpe z.B. beschädigt werden, es kann sich z.B. ein Sicherheitsrisiko für den Benutzer ergeben oder die Förderleistung der Pumpe kann z.B. bei Überschreiten der maximalen Drehzahl konstruktionsbedingt nicht weiter erhöht werden.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl in der Verdichtungsphase bis auf eine minimale Pumpendrehzahl verringert.

[0019] Die minimale Pumpendrehzahl entspricht insbesondere derjenigen Drehzahl, bei der sich bei einem maximalen Druck (insbesondere Verdichtungsdruck) des Fluids in dem ersten Verdichterraum das (konstant gehaltene) Produkt aus Pumpenmoment und Pumpendrehzahl ergibt.

[0020] Dabei wird insbesondere bei Erreichen der Mindestdrehzahl ein Freilaufventil geöffnet, so dass die Last von der Pumpe genommen wird.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl in einer sich an die Verdichtungsphase anschließenden Stoppphase auf der minimalen Pumpendrehzahl gehalten.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl vor der Vorverdichtungsphase in einer Startphase, insbesondere linear bezüglich der Zeit, auf die maximale Pumpendrehzahl erhöht.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl in der Startphase zunächst auf die minimale Drehzahl erhöht, wobei die Pumpendrehzahl nach Erreichen der minimalen Pumpendrehzahl konstant gehalten wird, und wobei die Pumpendrehzahl anschließend, insbesondere linear bezüglich der Zeit, auf die maximale Pumpendrehzahl erhöht wird.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Pumpendrehzahl anhand eines vorgegebenen zeitlichen Drehzahlverlaufs eingestellt.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der Druck des Fluids in dem ersten Verdichterraum, insbesondere direkt oder indirekt, bestimmt oder gemessen, wobei die Pumpendrehzahl als Funktion des be-

stimmten oder gemessenen Drucks eingestellt wird. Die Bestimmung des Drucks kann z.B. durch direkte Druckmessung im ersten Verdichtungsraum oder alternativ durch Messung des Drucks des Hydraulikfluids im zweiten Verdichtungsraum oder in einer Hydraulikfluidleitung stromab der Pumpe erfolgen.

[0026] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Verdichterbaugruppe, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach dem ersten Aspekt, aufweisend einen Verdichter, der einen im Verdichter bewegbaren Kolben aufweist, der so in dem Verdichter anordenbar ist, dass er einen ersten Verdichterraum von einem zweiten Verdichterraum trennt, einen Hydraulikfluidbehälter zur Aufnahme eines Hydraulikfluids, der mit dem zweiten Verdichterraum in Strömungsverbindung bringbar ist, eine Pumpe, die dazu konfiguriert ist, das Hydraulikfluid aus dem Hydraulikfluidbehälter zu fördern und in den zweiten Verdichterraum einzuleiten, so dass sich der Kolben bewegt und in dem ersten Verdichterraum bereitgestelltes Fluid verdichtet wird, wobei die Verdichterbaugruppe eine Steuerungseinrichtung aufweist, die dazu konfiguriert ist, eine Pumpendrehzahl der Pumpe während der Verdichtung des Fluids so zu steuern, dass das mathematische Produkt aus der Pumpendrehzahl und einem Pumpenmoment der Pumpe konstant bzw. im Wesentlichen konstant bleibt, wobei das Pumpenmoment von dem in dem ersten Verdichterraum herrschenden Druck abhängt.

[0027] Die Pumpe weist zum Verdichten des Fluids eine mit einer Pumpendrehzahl rotierende bzw. sich bewegende Komponente oder Baugruppe auf. Z.B. kann die Pumpe als Axialkolbenmaschine, Radialkolbenmaschine oder Zahnradpumpe ausgebildet sein.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Steuerungseinrichtung dazu konfiguriert, die Pumpendrehzahl anhand eines vorgegebenen zeitlichen Pumpendrehzahlverlaufs einzustellen. Dieser Drehzahlverlauf kann z.B. in einer Speichereinheit der Steuerungseinrichtung gespeichert werden.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Verdichterbaugruppe mindestens einen Drucksensor zur Bestimmung oder Messung des Drucks des Fluids in dem ersten Verdichterraum auf, wobei die Steuerungseinrichtung dazu konfiguriert ist, die Pumpendrehzahl als Funktion des bestimmten bzw. gemessenen Drucks einzustellen.

[0030] Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Verdichterbaugruppe mit einer Steuerungseinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 ein Diagramm, das den zeitlichen Verlauf der Pumpendrehzahl und des Drucks des Fluids in dem ersten Verdichterraum während des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt.

[0031] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Verdichterbaugruppe 1 im Längsschnitt. Die Verdichterbaugruppe 1 weist einen Verdichter 3 mit einem Kolben 30 auf, der einen ersten Verdichterraum 31 des Verdichters 3 zur Aufnahme eines Fluids F von einem zweiten Verdichterraum 32 des Verdichters 3 zur Aufnahme eines Hydraulikfluids H trennt.

[0032] Die Verdichterbaugruppe 1 weist weiterhin einen mit Hydraulikfluid H teilweise gefüllten Hydraulikfluidbehälter 9 und eine Pumpe 11 auf, die dazu konfiguriert ist, das Hydraulikfluid H aus dem Hydraulikfluidbehälter 9 zu fördern und über ein Hydraulikventil 6 in den zweiten Verdichterraum 32 des Verdichters 3 einzuleiten.

[0033] Der Kolben 30 ist bewegbar in dem Verdichter 3 angeordnet, so dass der Kolben 30 sich in der Darstellung der Fig. 1 nach rechts bewegen kann, wenn das Hydraulikfluid H in den zweiten Verdichterraum 32 eingeleitet wird. Durch die Bewegung des Kolbens 30 vergrößert sich dabei das Volumen des zweiten Verdichterraums 32 und das Volumen des ersten Verdichterraums 31 verkleinert sich entsprechend, so dass in dem ersten Verdichterraum 31 befindliches Fluid F bei einer solchen Bewegung des Kolbens 30 aufgrund der Verkleinerung des Volumens des ersten Verdichterraums 31 verdichtet wird.

[0034] Wie in Fig. 1 gezeigt, ist der zweite Verdichterraum 32 weiterhin über das Hydraulikventil 6 sowie ein Hydraulikrücklaufventil 8 mit dem Hydraulikfluidbehälter 9 verbunden, so dass bei einer Bewegung des Kolbens 30 nach links gemäß der Darstellung der Fig. 1 (z.B. wenn der erste Verdichterraum 31 mit dem Fluid F gefüllt wird) das aus dem zweiten Verdichterraum 32 mittels des Kolbens 30 verdrängte Hydraulikfluid H über das Hydraulikventil 6 und das Hydraulikrücklaufventil 8 zurück in den Hydraulikfluidbehälter 9 fließen kann.

[0035] Eine gestrichelte Linie stellt einen beispielhaften Pegel des Hydraulikfluids H in dem Hydraulikfluidbehälter 9 dar. Weiterhin geben die Pfeile die Fließrichtung des Hydraulikfluids an.

[0036] Die Pumpe 11 ist insbesondere als Axialkolbenmaschine, Radialkolbenmaschine oder Zahnradpumpe ausgeführt, weist also mit einer Pumpendrehzahl n (die z.B. in der Einheit s^{-1} angegeben werden kann) rotierende Komponenten auf, wobei die Förderleistung der Pumpe 11 desto größer ist, je höher die Pumpendrehzahl n ist.

[0037] Die in Fig. 1 gezeigte Pumpe 11 (bzw. deren rotierende Komponenten) sind durch einen Motor 10 angetrieben. Der Motor 10 versetzt also die besagten rotierenden Komponenten der Pumpe 11 in Drehbewegung.

[0038] Der Motor 10 ist mit einer Steuerungseinrichtung 12 verbunden, so dass mittels der Steuerungseinrichtung 12 die Drehzahl des Motors 10 und somit die Pumpendrehzahl n der Pumpe 11 steuerbar ist.

[0039] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird Hydraulikfluid H mittels der Pumpe 11 aus dem Hydraulikfluidbehälter 9 in den zweiten Verdichterraum 32 des

Verdichters 3 eingeleitet, so dass sich der Kolben 30 gemäß der Darstellung der Fig. 1 nach rechts bewegt, wodurch das Volumen V des ersten Verdichterraums 31 verringert wird und somit das in dem ersten Verdichterraum 31 befindliche Fluid F verdichtet wird.

[0040] Die Figur 2 zeigt ein gemeinsames Zeit/Pumpendrehzahl- und Zeit/Druck-Diagramm. Dabei stellt die Abszisse des Diagramms die Zeit t dar und die Ordinate des Diagramms stellt bezüglich einer Pumpendrehzahlkurve $n(M)$ die Pumpendrehzahl n der Pumpe 11 und bezüglich einer Druckkurve $p(V, \kappa)$ den Druck p des Fluids F in dem ersten Verdichterraum 31 des Verdichters 3 während des erfindungsgemäßen Verfahrens in Abhängigkeit der Zeit t dar.

[0041] Anhand der Druckkurve $p(V, \kappa)$ ist ersichtlich, dass der Druck p des Fluids F in dem ersten Verdichterraum 31 bei einer Verringerung des Volumens V des ersten Verdichterraums 31 nichtlinear bis auf einen maximalen Druck $p_{\max}$ ansteigt. Die in Fig. 2 gezeigte Druckkurve $p(V, \kappa)$ lässt sich unter Annahme einer isentropen Verdichtung aus der Adiabatangleichung

$$p \cdot V^{\kappa} = \text{const} \quad (1)$$

herleiten, wobei p den Druck des Fluids F in dem ersten Verdichterraum 31 bezeichnet, und wobei V das Volumen des ersten Verdichterraums 31 bezeichnet, und wobei κ den Adiabatenexponenten des Fluids F bezeichnet.

[0042] Die in Fig. 2 dargestellte Drehzahlkurve $n(M)$ zeigt, dass bei dem hier dargestellten Beispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens die Pumpendrehzahl n so gesteuert wird, dass während einer Startphase t_{Start} die Pumpendrehzahl n zunächst linear von Null bis auf eine minimale Pumpendrehzahl $n_{\min}$ (Mindestbetriebsdrehzahl) erhöht wird (wobei die besagte lineare Erhöhung auch als Startrampe oder erste Rampe bezeichnet wird), anschließend für einen Zeitabschnitt konstant auf der minimalen Pumpendrehzahl $n_{\min}$ gehalten wird (auch als erstes Plateau bezeichnet) und daran anschließend linear bis auf die maximale Pumpendrehzahl $n_{\max}$ erhöht wird (auch als zweite Rampe bezeichnet). Während einer Vorverdichtungsphase t_{Vorverd} folgt anschließend die Vorverdichtung des Fluids F, wobei die Pumpendrehzahl n konstant der maximalen Pumpendrehzahl $n_{\max}$ entspricht (auch als zweites Plateau bezeichnet). Anhand der Druckkurve $p(V, \kappa)$ ist ersichtlich, dass während der Vorverdichtungsphase t_{Vorverd} der Druck p in dem ersten Verdichtungsraum 31 nahezu konstant bleibt.

[0043] Anschließend wird die Pumpendrehzahl n während einer Verdichtungsphase t_{Verd} , insbesondere proportional zu dem im ersten Verdichtungsraum 31 herrschenden Gegendruck p , verringert, so dass sich für die Verdichtungsphase t_{Verd} ein zumindest annähernd linearer Zusammenhang zwischen Zeit und Pumpendrehzahl n ergibt. In der Verdichtungsphase bleibt das Produkt aus Pumpenmoment M und Pumpendrehzahl n erfindungsgemäß konstant, so dass sich jeweils die bei

dem aktuellen Gegendruck maximale Pumpenleistung ergibt.

[0044] Sobald die minimale Pumpendrehzahl $n_{\min}$ (die minimale Pumpendrehzahl ist ferner von herstellereigenen Angaben abhängig, wobei diese meist eine rotationsinduzierte Mindestschmierung betreffen) erreicht ist, was gleichzeitig mit dem Erreichen des maximalen Gegendrucks $p_{\max}$ im ersten Verdichterraum 31 eintritt, wird, z.B. durch Öffnen eines Freilaufventils, die Last von der Pumpe 11 genommen. Anschließend wird die Pumpendrehzahl n in einer Stopphase t_{stop} konstant auf der minimalen Pumpendrehzahl $n_{\min}$ gehalten. Nach Ende der Stopphase t_{stop} wird die Pumpendrehzahl n in einer weiteren Rampe auf 0 reduziert.

[0045] Durch eine z.B. vom Motorenhersteller zur Verfügung gestellte Leistungskurve des Motors 10, der die Pumpe 11 antreibt, lässt sich die bei einem gegebenen aktuellen Gegendruck maximal von dem Motor 10 erzeugbare Pumpendrehzahl n anhand der folgenden Gleichung beschreiben:

$$P = M \cdot \omega \cdot \eta_{\text{Pumpe}} \quad (2)$$

Dabei bezeichnet P die Pumpenleistung der Pumpe 11, M das vom Gegendruck (insbesondere linear) abhängige Pumpenmoment der Pumpe 11, ω die Winkelgeschwindigkeit der Pumpe 11 und η_{Pumpe} den Pumpenwirkungsgrad der Pumpe 11.

[0046] Die Winkelgeschwindigkeit ω lässt sich mit der Beziehung $\omega = 2\pi \cdot n$ in die Pumpendrehzahl n umwandeln, so dass sich folgende Gleichung ergibt:

$$P = M \cdot 2\pi \cdot n \cdot \eta_{\text{Pumpe}} \quad (3)$$

[0047] Diese Gleichung lässt wie folgt nach der Pumpendrehzahl n umstellen:

$$n = \frac{P}{2\pi \cdot M \cdot \eta_{\text{Pumpe}}} \quad (4)$$

[0048] Über den Zusammenhang der isentropen Verdichtung lässt sich die Anzahl der Pumpenumdrehungen wie im Folgenden beschrieben als Funktion des Verdichtungsendrucks (maximaler Druck $p_{\max}$) darstellen. Dabei bezeichnet im Folgenden V_1 das maximale Volumen des ersten Verdichterraums 31 des Verdichters 3 und V_2 bezeichnet das maximale Volumen des ersten Verdichterraums 31 abzüglich der Anzahl der Pumpenumdrehungen (N_{Pumpe}) vervielfacht um das volumetrische Hubvolumen der Pumpe 11 (V_{Pumpe}). p_1 bezeichnet dabei den Gegendruck des Fluids F in dem ersten Verdichtungsraum 31 bei dem Volumen V_1 und p_2 bezeichnet den Gegendruck des Fluids F in dem ersten Verdichtungsraum 31 bei dem Volumen V_2 .

$$p \cdot V^\kappa = \text{const} \quad (5)$$

$$V_2 = (V_1 - N_{\text{Pumpe}} \cdot V_{\text{Pumpe}}) \quad (6)$$

[0049] Aus Gleichung (5) ergibt sich:

$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa \quad (7)$$

[0050] Setzt man Gleichung (6) in Gleichung (7) ein, erhält man:

$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot (V_1 - N_{\text{Pumpe}} \cdot V_{\text{Pumpe}})^\kappa \quad (8)$$

[0051] Gleichung (8) lässt sich wie folgt umstellen:

$$V_1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \cdot V_1 = N_{\text{Pumpe}} \cdot V_{\text{Pumpe}} \quad (9)$$

$$N_{\text{Pumpe}} = \frac{V_1 - V_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}}}{V_{\text{Pumpe}}} \quad (10)$$

[0052] Entsprechend der Drehzahlkurve lassen sich die einzelnen Zeiten bzw. Phasen t_{start} , t_{vorverd} , t_{verd} und t_{stop} errechnen.

[0053] Die Steuerung der Pumpendrehzahl n kann z. B. anhand einer vorgegebenen Drehzahlkurve (wie z. B. in Fig. 2 dargestellt) erfolgen. Alternativ dazu kann der Gegendruck des Hydraulikfluids H bzw. der Druck des Fluids F in dem ersten Verdichterraum 31 während des Verfahrens gemessen werden, wobei die Pumpendrehzahl n als Funktion des gemessenen Drucks eingestellt wird.

Bezugszeichenliste

1	Verdichterbaugruppe
3	Verdichter
6	Hydraulikventil
8	Hydraulikrücklaufventil
9	Hydraulikfluidbehälter
10	Motor
11	Pumpe
12	Steuerungseinrichtung
30	Kolben
31	Erster Verdichterraum
32	Zweiter Verdichterraum

(fortgesetzt)

F	Fluid
H	Hydraulikfluid
κ	Adiabatexponent
N	Pumpendrehzahl
$n_{\min}$	Minimale Pumpendrehzahl
$n_{\max}$	Maximale Pumpendrehzahl
M	Pumpenmoment
P	Druck
$p_{\max}$	Maximaler Druck
t	Zeit
t _{start}	Startphase
t _{Vorverd}	Vorverdichtungsphase
t _{Verd}	Verdichtungsphase
t _{Stop}	Stopphase
V	Volumen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verdichtung eines Fluids (F), wobei das Fluid (F) in einem ersten Verdichterraum (31) bereitgestellt wird, der mittels eines bewegbaren Kolbens (30) eines Verdichters (3) von einem zweiten Verdichterraum (32) getrennt ist, wobei mittels einer Pumpe (11) ein Hydraulikfluid (H) in den zweiten Verdichterraum (32) eingeleitet wird, so dass sich der Kolben (30) bewegt und das Fluid (F) in dem ersten Verdichterraum (31) verdichtet wird, wobei eine Pumpendrehzahl (n) der Pumpe (11) während der Verdichtung des Fluids (F) so gesteuert wird, dass das Produkt aus der Pumpendrehzahl (n) und einem Pumpenmoment (M) der Pumpe (11) konstant bleibt, wobei das Pumpenmoment (M) von dem in dem ersten Verdichterraum (31) herrschenden Druck (p) abhängt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Pumpendrehzahl (n) bezüglich der Zeit (t) linear verringert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Pumpendrehzahl (n) in einer Vorverdichtungsphase (t_{Vorverd}) konstant gehalten wird, und wobei die Pumpendrehzahl (n) in einer sich an die Vorverdichtungsphase (t_{Vorverd}) anschließenden Verdichtungsphase (t_{Verd}) verringert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Pumpendrehzahl (n) in der Vorverdichtungsphase (t_{Vorverd}) einer maximalen Pumpendrehzahl (n_{max}) der Pumpe (11)

entspricht.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Pumpendrehzahl (n) in der Verdichtungsphase (t_{Verd}) bis auf eine minimale Pumpendrehzahl (n_{min}) verringert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Pumpendrehzahl (n) in einer sich an die Verdichtungsphase (t_{Verd}) anschließenden Stopphase (t_{stop}) auf der minimalen Pumpendrehzahl (n_{min}) gehalten wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die Pumpendrehzahl (n) vor der Vorverdichtungsphase (t_{Vorverd}) in einer Startphase (t_{Start}) auf die maximale Pumpendrehzahl (n_{max}) erhöht wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Pumpendrehzahl (n) in der Startphase (t_{start}) zunächst auf die minimale Pumpendrehzahl (n_{min}) erhöht wird, und wobei die Pumpendrehzahl (n) nach Erreichen der minimalen Pumpendrehzahl (n_{min}) konstant gehalten wird, und wobei die Pumpendrehzahl (n) anschließend auf die maximale Pumpendrehzahl (n_{max}) erhöht wird.
9. Verdichterbaugruppe (1), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, aufweisend
 - einen Verdichter (3), der einen im Verdichter (3) bewegbaren Kolben (30) aufweist, der so in dem Verdichter (3) anordenbar ist, dass er einen ersten Verdichterraum (31) von einem zweiten Verdichterraum (32) trennt,
 - einen Hydraulikfluidbehälter (9) zur Aufnahme eines Hydraulikfluids (H), der mit dem zweiten Verdichterraum (32) in Strömungsverbindung bringbar ist,
 - eine Pumpe (11), die dazu konfiguriert ist, das Hydraulikfluid (H) aus dem Hydraulikfluidbehälter (9) zu fördern und in den zweiten Verdichterraum (32) einzuleiten, so dass sich der Kolben (30) bewegt und in dem ersten Verdichterraum (31) bereitgestelltes Fluid (F) verdichtet wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Verdichterbaugruppe (1) eine Steuerungseinrichtung (12) aufweist, die dazu konfiguriert ist, eine Pumpendrehzahl (n) der Pumpe (11) während der Verdichtung des Fluids (F) so zu steuern, dass das Produkt aus der Pumpendrehzahl (n) und einem Pumpenmoment (M) der Pumpe (11) konstant bleibt, wobei das Pumpenmoment (M) von dem in dem ersten Verdichterraum (31) herrschenden Druck (p) abhängt.

Fig. 1

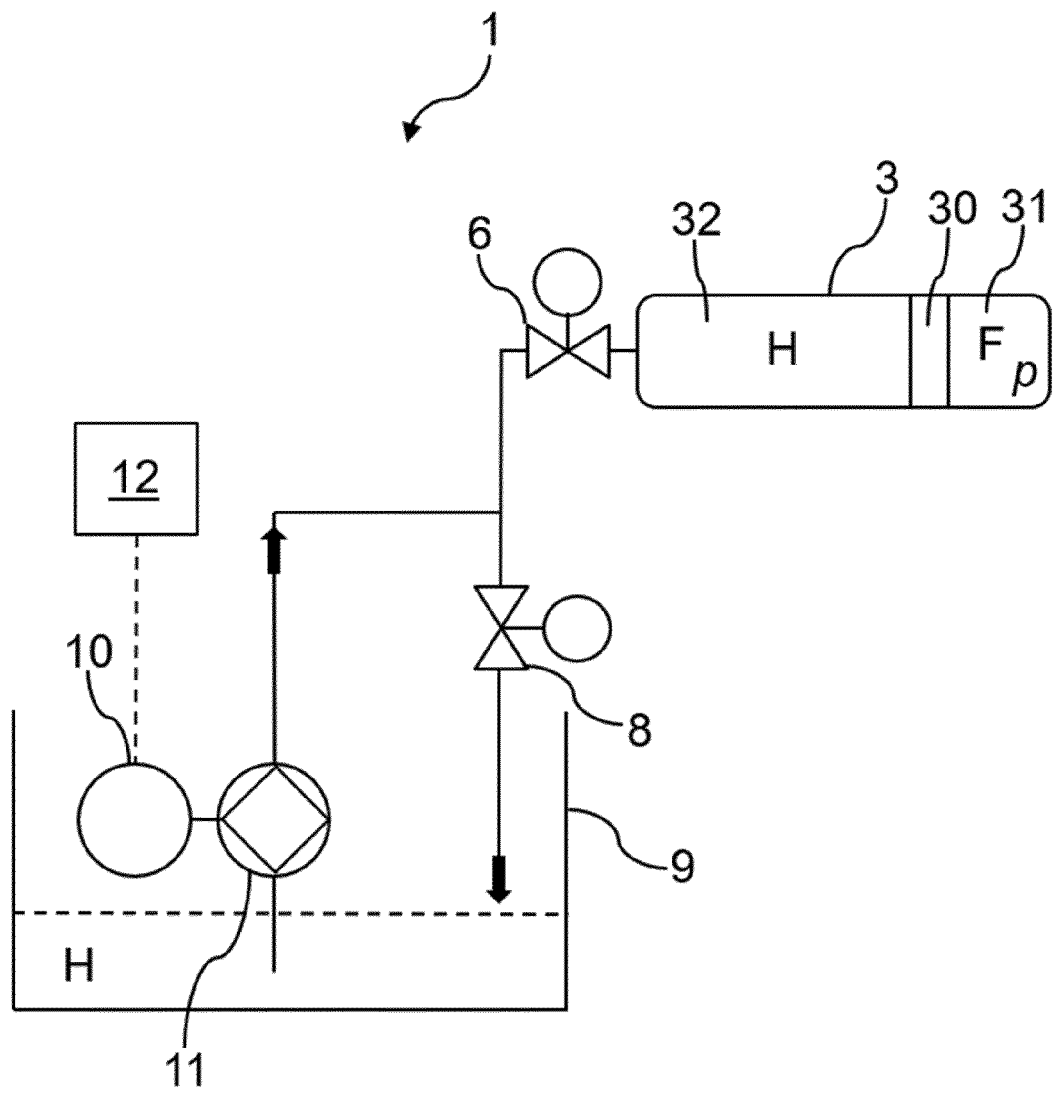
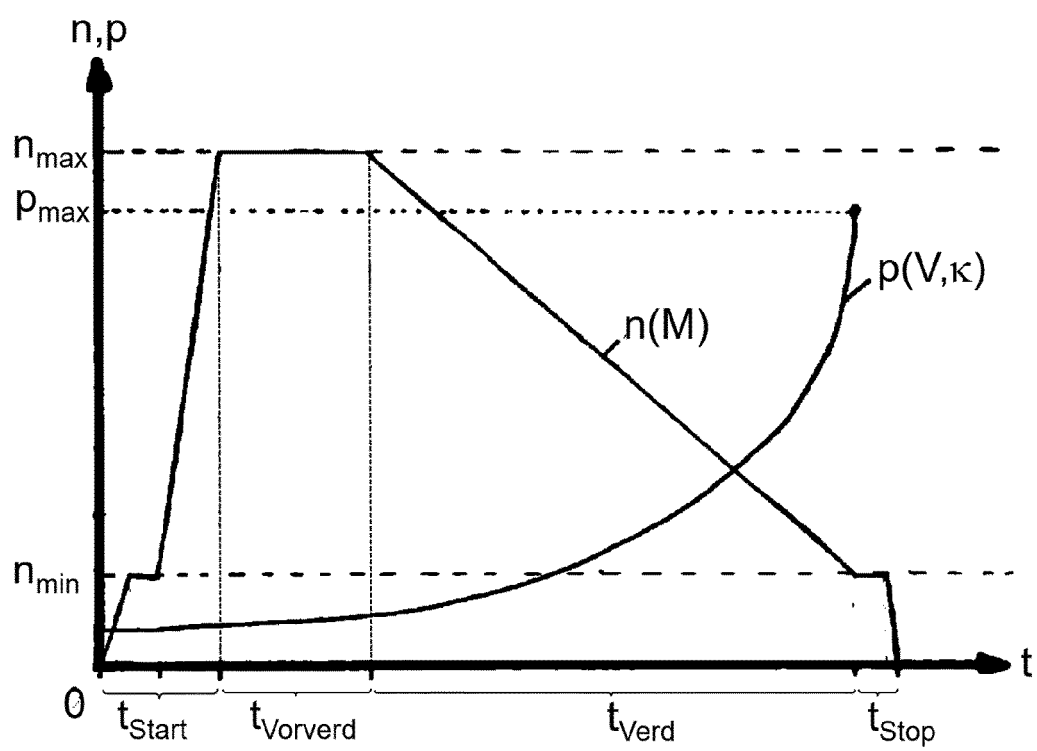


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 18 02 0012

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)
A	DE 10 2013 016696 A1 (LINDE AG [DE]) 9. April 2015 (2015-04-09) * Ansprüche 1-10; Abbildung 4 *	1,9	INV. F04B15/08 F04B49/22
A	DE 298 16 811 U1 (WIEDEMANN HELMUT [DE]) 7. Oktober 1999 (1999-10-07) * Anspruch 1; Abbildung 2 *	1,9	
A	EP 2 908 044 A2 (FELDMANN MICHAEL [DE]) 19. August 2015 (2015-08-19) * Ansprüche 1-10 *	1,9	
A	US 2015/013829 A1 (KUEHL STEVEN J [US] ET AL) 15. Januar 2015 (2015-01-15) * Ansprüche 1-38 *	1,9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. April 2018	Prüfer Fistas, Nikolaos
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
 EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 18 02 0012

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.

23-04-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 102013016696 A1	09-04-2015	DE 102013016696 A1 EP 3055607 A2 JP 2016538492 A US 2016238194 A1 WO 2015051894 A2	09-04-2015 17-08-2016 08-12-2016 18-08-2016 16-04-2015
20	DE 29816811 U1	07-10-1999	KEINE	
	EP 2908044 A2	19-08-2015	KEINE	
	US 2015013829 A1	15-01-2015	KEINE	
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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