



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 402 090 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1602/94

(22) Anmeldetag: 18. 8.1994

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 6.1996

(45) Ausgabetag: 27. 1.1997

(51) Int.Cl.⁶ : **F04B 49/06**
F04B 49/02, 39/08

(56) Entgegenhaltungen:

AT 295725B DE 2916490A1 FR 2398900A1 US 4389168A
JP 61-55382A
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN NR. JP 56-154 185 A

(73) Patentinhaber:

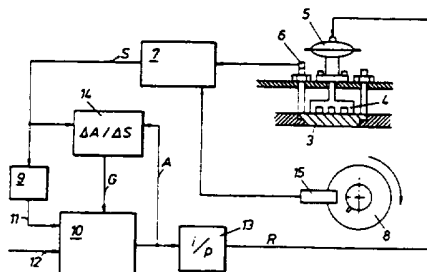
HOERBIGER Ventilwerke Aktiengesellschaft
A-1110 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

BAUER FRIEDRICH DIPL.ING. DR.
WIEN (AT).
ZEPPELZAUER WOLFGANG DIPL.ING.
WIEN (AT).
BACH GERHARD ING.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STUFENLOSEN REGELN DER FÖRDERMENGEN VON KOLBENVERDICHTERN

(57) Zum stufenlosen Regeln der Fördermenge eines Hubkolbenverdichters wird zumindest ein Saugventil (3) mittels einer über ein steuerbares Druckmedium betätigten Abhebevorrichtung (4, 5) zeitweilig offen gehalten. Um ein Offenbleiben des Saugventils (3) zu Folge eines von der Dichte des jeweiligen Gases abhängigen zu geringen Rückströmdruckes zu vermeiden wird das Schließen des Saugventils (3) überwacht und der entsprechende Zeitpunkt bzw. sein Abstand vom Abschnappunkt als Regelgröße bzw. Begrenzung des Regelbereiches verwendet.



AT 402 090 B

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum stufenlosen Regeln der Fördermenge eines Hubkolbenverdichters durch zeitweiliges Offenhalten zumindest eines Saugventils mittels einer über ein steuerbares Druckmedium betätigten Abhebevorrichtung.

Verfahren und Vorrichtungen der genannten Art sind schon in mehreren Ausführungen bekannt und z.B. in der AT-187 616 B beschrieben. Bei diesen als "Rückströmregelung" bekannten Verfahren wird ein Teil des angesaugten Gases beim Druckhub des Verdichters durch das zwangsweise offengehaltene Saugventil wieder in die Saugleitung zurückgeschoben. Das Saugventil wird erst geschlossen, sobald die vom zurückströmenden Gas auf das Verschlußstück des Saugventils ausgeübten Rückströmkkräfte die von außen aufgebrachte Offenhaltekraft überwiegen. Die Verdichtung und in der Folge die Förderung des Mediums beginnen bei jedem Verdichterhub erst nach dem Schließen des Saugventils. Die Offenhaltekraft wird von einem Druckmedium in Form eines Abhebedruckes über die Abhebeeinrichtung auf das Verschlußstück des Saugventils aufgebracht. Durch Verändern des Abhebedruckes kann die jeweilige Fördermenge gewählt, verändert und dem jeweiligen Bedarf angepaßt werden.

Diese Regelungen arbeiten im wesentlichen ohne Leistungsverluste und ermöglichen eine stufenlose Veränderung der Fördermenge. Ihr Regelungsbereich ist jedoch, bedingt durch die Arbeitsweise der Kolbenverdichter, nach unten zu begrenzt. Ab einer bestimmten gedrosselten Fördermenge reichen die auftretenden Rückströmkkräfte nicht mehr aus, das Saugventil gegen die Abhebekraft zu schließen. Der Verdichter geht dann schlagartig in den Leerlaufzustand über. In der Praxis liegt die Untergrenze des Regelbereichs solcher Rückströmregelungen etwa bei 20 bis 40 % der vollen Fördermenge. Dieser plötzliche Ausfall der Förderung ist unerwünscht, weil er zu starken Schwankungen des Druckes und der verdichteten Gasmenge im versorgten Drucksystem führen und nachteilige Schwingungen verursachen kann, sowie den Antriebsmotor stoßweise be- und entlastet und bei elektrischem Antrieb zu Stromstößen im Netz führt.

Um Abhilfe zu schaffen, ist es weiters bekannt, die Abhebekraft auf einen bestimmten Wert zu begrenzen, der kleiner ist als die für das beschriebene Abschalten der Förderung verantwortliche Abhebekraft. Diese Grenze kann verhältnismäßig einfach empirisch festgestellt oder auch errechnet werden. Sie hängt aber weitgehend von den Betriebsbedingungen des Verdichters und von dessen Bauart ab, neben dem konstruktiven Aufbau vor allem von der Beschaffenheit des geförderten Mediums, insbesondere von dessen Dichte. Daraus folgt, daß die maximal zulässige Abhebekraft jeweils nur für eine bestimmte Gasart und einen bestimmten Saugdruck optimal eingestellt werden kann.

Wenn die Beschaffenheit des Gases, z.B. dessen Molekulargewicht, oder der Saugdruck sich während des Betriebes ändern, funktioniert die Abschaltsperre nicht mehr. Da die zulässige Abhebekraft mit der Gasdichte steigt, kann der Grenzwert immer nur nach dem auftretenden Gas mit der kleinsten Dichte ausgerichtet werden. Bei der Förderung eines Gases mit größerer Dichte kann dann aber nicht mehr der volle Regelungsbereich ausgenützt werden, weil dazu eine über dem eingestellten Grenzwert liegende Abhebekraft erforderlich wäre.

Es ist prinzipiell zwar möglich, die Gasdichte im Saugzustand laufend zu messen und den Grenzwert für die Abhebekraft während des Betriebes fortlaufend den gemessenen Werten anzupassen. Eine derartige Bestimmung der Gasdichte ist jedoch aufwendig und unpraktikabel. Sie hängt vom Ansaugdruck, der Ansaugtemperatur und vom Molekulargewicht des Gases ab. Ansaugdruck und Temperatur sind einfach zu messen, wesentlich aufwendiger ist aber die Messung des Molekulargewichtes. Die zusätzlich notwendige Verknüpfung der gemessenen, die Gasdichte bestimmenden Größen führt zu weiteren Komplikationen. In der Praxis wird diese Maßnahme daher sehr selten angewendet.

Um den Regelungsbereich für die Fördermenge nicht unnötigerweise beschränken zu müssen, ist weiters beispielsweise aus der DE-41 05 593 A1 ein Verfahren der eingangs genannten Art bekannt geworden, bei dem die Größe der Abhebekraft in Abhängigkeit von der vom Antriebsmotor des Verdichters jeweils aufgenommenen Antriebsleistung gewählt bzw. begrenzt wird, womit auf relativ einfache Weise insbesondere die jeweiligen Eigenschaften des geförderten Gases für die Begrenzung der Mengenregelung zumindest des gesamten Verdichters berücksichtigt werden können.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß auf einfache und verdichter- bzw. ggf. auch zylinderspezifische Weise der Regelungsbereich, in dem der verdichter bzw. auch ein einzelner Zylinder davon, noch stetig arbeitet, möglichst voll ausgenutzt werden kann.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art gemäß der Erfindung dadurch erreicht, daß jeweils der Zeitpunkt bzw. der Kurbelwinkel bzw. die Kolbenstellung bei dem bzw. der das Saugventil schließt, bestimmt und als Regelgröße für die Mengenregelung durch Änderung der Stellgröße Mediumdruck an der Abhebevorrichtung verwendet wird. Die erfindungsgemäße Ausgestaltung der entsprechenden Vorrichtung besteht darin, daß zur Bestimmung des Schließzeitpunktes des Saugventils ein

Vibrationssensor oder Schallsensor, vorzugsweise Körperschallsensor, vorzugsweise in der Nähe des jeweiligen Saugventils, vorgesehen ist, daß der Schallsensor, gegebenenfalls über eine Signalaufbereitungseinheit, mit einer Regeleinheit für die Stellgröße (R) Druck des Druckmediums der Abhebevorrichtung in Verbindung steht und daß die Regeleinheit mit einer Begrenzungseinheit für die Stellgröße (R) in Verbindung steht, der einerseits die Änderung der Stellgröße (R) und andererseits die zugehörige Änderung des Schließzeitpunktes (S) des Saugventils zugeführt ist.

Damit kann also die gewünschte Anpassung der Regelung des Verdichters an das geförderte Gas lediglich durch Überwachung bzw. Bestimmung des Schließens, insbesondere des Schließzeitpunktes, des Saugventils unter Bezugnahme auf den Abschnapp-Kurbelwinkel erfolgen, wobei die Feststellung bzw. Überwachung des Schließens des Saugventils sehr einfach über den genannten Sensor erfolgen kann. Die Verwendung derartiger Sensoren zur Bestimmung und Anzeige des Schließ- bzw. Öffnungszeitpunktes von Ventilen ist dabei an sich ebenso wie die Messung bzw. Zuordnung von Kurbelwinkelstellungen auch bei Hubkolbenmaschinen bekannt - siehe z.B. DE-29 16 490 A1 neu und vorteilhaft im vorliegenden Zusammenhang ist aber das einfache Gewinnen und Verwenden einer Regelgröße für die Mengenregelung eines Hubkolbenverdichters aus diesen Messungen bzw. Bestimmungen.

In bevorzugter Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird - entsprechend der beschriebenen Ausbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung - das Schließen des Saugventils über eine Vibrationsmessung oder Schallmessung, vorzugsweise Körperschallmessung in der Nähe des jeweiligen Saugventils, bestimmt. Dies ist aber nur eine bevorzugte Möglichkeit zur Überwachung bzw. Feststellung des Schließens des Saugventils - denkbar und möglich wären auch beispielsweise induktive oder kapazitive Methoden bzw. auch einfache Kontakte oder dgl., die durch das Saugventil bzw. die Bewegung von dessen Verschlußstück oder dessen Rückwirkung auf eine Abhebevorrichtung oder dgl. betätigt oder beeinflusst werden. Die Erkennung des Schließzeitpunktes kann dabei auch unterstützt werden, beispielsweise durch Verknüpfung des Meßsignals mit einem plausiblen Kurbelwinkelbereich, sowie durch Ausblenden von schwächeren Signalen, die von anderen Ventilen herrühren.

Nach einer besonders bevorzugten weiteren Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß auf die Beziehung Schließzeitpunkt bzw. -winkel des Saugventils zu Fördermenge vor der Verwendung des Schließzeitpunktes bzw. -winkels als Regelgröße eine Linearisierungsfunktion angewandt wird, was sich günstig auf das Regelverhalten auswirkt.

Zur Verhinderung eines Abschnappens bzw. ständigen Offenbleibens des Saugventils kann der Schließzeitpunkt, bei dem das Saugventil spätestens schließen muß, für jeden Zylinder festgestellt und als Begrenzung mit Sicherheitsabstand fix eingestellt werden. Dies ergibt eine einfache und zuverlässige Regelung bzw. Regelungsbegrenzung, wobei dann im fortlaufenden Betrieb des Verdichters keine weiteren entsprechenden Maßnahmen mehr gesetzt werden müssen.

Besonders bevorzugt ist aber eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, gemäß welchem zur Verhinderung eines Abschnappens bzw. ständigen Offenbleibens des Saugventils jeweils die Änderung der Stellgröße (R) und die zugehörige Änderung des Schließzeitpunktes (S) des Saugventils bestimmt werden, womit dann der Quotient der beiden Änderungen ($\Delta R/\Delta S$) auf einen Wert >0 begrenzt wird. Damit ist ein selbsttätiges Auffinden des Grenzschießwinkels möglich, der sich auch im Betrieb des Verdichters ändern kann, wie dies eingangs beispielsweise an Hand von Dichteänderungen des zu fördernden Gases beschrieben wurde.

Die Erfindung wird im folgenden noch an Hand der in den Zeichnungen dargestellten Diagramme bzw. Schemata näher beschrieben. Fig. 1 zeigt dabei ein Diagramm, in dem der Verlauf der Fördermenge in Abhängigkeit von dem die Abhebekraft liefernden Abhebedruck bei unterschiedlichen Gaseigenschaften dargestellt ist, Fig. 2 zeigt ein Diagramm mit dem Reglerausgang A (Stellgröße R) über dem Schließwinkel S, Fig. 3 zeigt ein entsprechendes Diagramm für unterschiedliche Gasgewichte und mit eingetragenen Grenzsteigungen und Fig. 4 zeigt ein Schemabild der erfindungsgemäßen Verdichterregelung.

Im Diagramm nach Fig. 1 ist auf der Abszissenachse der Abhebedruck p in bar und auf der Ordinatenachse die Fördermenge Q in % aufgetragen. Die beiden Kurven 1 und 2 zeigen den Verlauf der Fördermenge Q in Abhängigkeit vom Abhebedruck p bei der Förderung von Gasen mit verschiedenen Eigenschaften. Die Kurve 1 veranschaulicht beispielsweise den Verlauf bei einem Gas mit einem Molekulargewicht $M = 2,7$ und die Kurve 2 bei Förderung eines Gases mit einem Molekulargewicht $M = 6,2$.

Aus den Verläufen der Kurven 1 und 2 ist zu erkennen, daß eine Vergrößerung des Abhebedruckes p eine stetige Reduzierung der Liefermenge Q zur Folge hat. Dies gilt bis zu einem Punkt A auf der Kurve 1 und einem Punkt B auf der Kurve 2. Wenn der Abhebedruck nur geringfügig über die Punkte A bzw. B hinaus erhöht wird, springt die Fördermenge sofort auf Null. Die von dem durch die Saugventile zurückströmenden Gas auf die Ventilverschlußstücke ausgeübten Strömungskräfte reichen nicht mehr aus, um die Saugventile gegen die auf sie aufgebrachte Abhebekraft zu schließen. Um dieses plötzliche Abschnappen

der Fördermenge, das nicht nur Stöße in dem Gaskreislauf, sondern auch Stromstöße im elektrischen Netz verursacht, zu vermeiden, muß der Regelbereich auf den kontinuierlich verlaufenden Teil der Kurven 1 und 2 beschränkt werden. Dies ist bisher z.B. durch die Begrenzung des Abhebedruckes p auf einen fixen Wert erfolgt, der knapp unter dem Druck von 2,8 bar liegt, der dem Punkt A zugeordnet ist. In Fig. 1 ist dieser

Grenzdruck gestrichelt eingezeichnet und mit p_1 bezeichnet.

Die den Grenzdruck p_1 darstellende Gerade schneidet die Kurve 2 im Punkt C, der einer Fördermenge von etwa 70 % entspricht. Wenn mit dieser Einstellung, also mit einem Abhebedruck p_1 , ein Gas mit höherem Molekulargewicht, z.B. nach der Kurve 2, gefördert wird, dann ist die stufenlose Regelung auf den über dem Punkt C liegenden Bereich der Kurve 2 beschränkt. Die Regelung ist also auf einen Bereich zwischen 100 und rund 70 % reduziert. Um den gesamten möglichen Regelungsbereich bis in die Nähe des Punktes B auszunützen, muß die Abhebedruckbegrenzung auf einen höheren Grenzwert p_2 eingestellt werden, im Ausführungsbeispiel z.B. auf einen Druck von etwa 3,55 bar. Bei der Förderung von Gasen mit schwankendem Molekulargewicht müßte also ständig das Molekulargewicht gemessen werden und die Abhebedruckbegrenzung automatisch, entsprechend dem bestehenden physikalischen Zusammenhang, dem gemessenen Molekulargewicht angepaßt werden. Dies ist naturgemäß äußerst aufwendig.

Im vorliegenden Fall wird nun der Abhebedruck in Abhängigkeit vom tatsächlichen Schließen des jeweiligen Saugventils begrenzt, im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 z.B. auf einen Wert, der der Fördermenge von etwa 33 % entspricht. Mit dieser einen Einstellung erfolgt die Begrenzung für beide Gasarten knapp vor den Punkten A und B auf den Kurven 1 und 2. In Fig. 1 sind diese Begrenzungspunkte mit A' und B' bezeichnet. Diese Begrenzung gilt für alle Gase und Molekulargewichte zwischen den beiden Kurven 1 und 2 und auch außerhalb derselben, ohne daß die Molekulargewichte gemessen werden müssen. Trotzdem kann in allen Fällen der gesamte zur Verfügung stehende Regelungsbereich (hier z.B. zwischen 33 und 100 %) ausgenützt werden.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist steht das Ausgangssignal A der Regeleinheit (3 in Fig. 4) für die Stellgröße (R) Druck des Druckmediums der Abhebevorrichtung in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Abhebedruck bzw. der Rückströmdruckkurve. Der Kurbelwinkel Alpha steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Kolbenweg des zu regelnden Verdichters, sodaß sich insgesamt eine entsprechende Kurve im Diagramm nach Fig. 2 für den Reglerausgang A über dem Schließwinkel S ergibt. Diese Kurve zeigt zu jeder Größe des Reglerausganges A1 bis A3 den Kurbelwinkel S1 bis S3, bei dem das entsprechende Saugventil schließt. Ab dem Schließwinkel S*, bei dem die Tangente an die Kurve in Fig. 2 waagrecht liegt findet kein Schließen des Ventils mehr statt, was dem sogenannten Abschnappen des entsprechenden Saugventils entspricht.

Gemäß Fig. 3 besteht die Aufgabe der eingangs beschriebenen selbsttätigen Limitierung des Regelbereiches darin, den jeweils rechts vom Maximum der dargestellten drei Kurven liegenden Ast mit Sicherheit zu vermeiden. Dazu werden während des Betriebes des zu regelnden Verdichters bzw. Verdichterzylinders laufend zugehörige Wertepaare A (bzw. R) und S registriert und der Differenzenquotient aufeinanderfolgender Wertepaare gebildet. Dieser Quotient, der der Steigung der jeweiligen Kurve entspricht, darf einen Grenzwert G nicht unterstreiten, der auf alle Fälle größer 0 sein muß. Solange diese Bedingung erfüllt ist, wird die Limitierung auf oder vor dem relativen Maximum der jeweiligen Kurve gesetzt. Ist das Maximum erreicht (Regelung ist am Limit) und die Bedingung ist noch erfüllt so kann die Größe A langsam in Inkrementen erhöht werden. Sollte der Quotient kleiner oder gleich der angenommenen Regelgrenze G sein, wird über den Regler das Ausgangssignal in Dekrementen zurückgenommen und das bisher als Limit geltende Maximum mit dem reduzierten Wert überschrieben. Das wird dann so oft wiederholt, bis der erhaltene Quotient wieder größer als G ist. Wenn sich die Regelung wieder vom Limit entfernt (Fördermenge nimmt zu) wird zweckmäßigerweise das festgeschriebene Limit nicht weiter verändert.

Die Bestimmung eines der Wertepaare A, S wird bevorzugt erst dann erfolgen, wenn S um ein vorgegebenes Maß vom zuletzt abgetasteten Wert abweicht, damit eine hinreichend genaue Bestimmung der relevanten Kurvensteigung sichergestellt werden kann. Da wegen des Zeitverhaltens des Regelsystems zusammengehörige Werte von A und S nicht zeitgleich beim Quotientenbildner eintreffen, soll bevorzugt auch die Möglichkeit bestehen, die zuerst eintretende Größe zu verzögern.

Bei unterschiedlichen Gasen ergeben sich unterschiedliche Kurven gemäß Fig. 3, wobei die Grenzsteigung G für jedes Gasgewicht bei einem anderen Grenzschießwinkel auftritt. Mit der hier beschriebenen Limitierung nach der Grenzsteigung der dargestellten Kurven wird für jeden Gaszustand die Ausnutzung des maximalen Regelbereiches ermöglicht.

In Fig. 4 ist die schematische Anordnung einer erfindungsgemäßen Regelvorrichtung gezeigt. Die Regelung kann dabei für jedes Saugventil separat oder beispielsweise auch nur einmal für jeden Zylinder oder jede Verdichterstufe ausgeführt sein.

Ein Saugventil 3 wird von einem Greifer 4, der von einem Membranzylinder 5 betätigt wird, solange offengehalten, als die durch den Abhebedruck R erzeugte Offenhalterkraft größer als die Kraft des das Ventil durchströmenden Gases ist. Das Schließen wird durch einen Sensor 6, der z.B. ein Beschleunigungsaufnehmer sein kann, erkannt. Es ist denkbar, stattdessen z.B. einen Positionssensor (berührend oder berührungslos) zu verwenden, der die Bewegung des Verschlußstücks oder des Greifers erfaßt.

Das Sensorsignal wird in der Schließwinkelerkennung 7 ausgewertet und in Relation zum meßtechnisch erfaßten Totpunkt als Schließwinkel S ausgegeben. Der Totpunkt wird üblicherweise mit einem berührungslosen Näherungsschalter 15 erfaßt, der eine Marke an der Kurbelwelle oder Schwungscheibe 8 abtastet.

Der Schließwinkel wird einer Linearisierungsfunktion 9 zugeführt, die den für jeden Kompressor bekannten eindeutigen Zusammenhang zwischen Fördermenge und Schließwinkel berücksichtigt, sodaß ein als Istwert zu bezeichnendes Liefermengensignal 11 entsteht, das dem Regler 10 zugeführt und mit dem Liefermengensollwert 12 verglichen wird. Die Stellgröße A des Reglers wirkt einerseits auf den elektromechanischen Umsetzer 13 (z.B. ein I/P-Wandler), der seinerseits den Abhebedruck R erzeugt, andererseits wird A ebenso wie der Schließwinkel S der Limitierungsfunktion 14 zugeführt, die im wesentlichen den Differenzenquotienten $\Delta A/\Delta S$ als Stellgrößenbegrenzung G an den Regler 10 führt.

Das beschriebene Verfahren bzw. die entsprechende Vorrichtung hat beispielsweise gegenüber der Limitierung nach Mindestantriebsmotorleistung bzw. nach dem Quotienten $\Delta A/\Delta I$, wobei I der Strom oder die Leistung des Antriebsmotors ist, zwei entscheidende Vorteile: Wenn mehrere Verdichterstufen bzw. Zylinder vorhanden sind, kann jeder einzelne Zylinder überwacht werden. Bei den bekannten Verfahren wird das Abschnappen eines einzelnen Zylinders nicht oder nicht sicher erkannt, da der Anteil eines Zylinders an der Strom- oder Leistungsaufnahme relativ klein ist. Wenn einzelne Verdichtungsräume eines Kompressors in unterschiedlichen Betriebszuständen laufen (z.B. verschiedene Gase) so kann die Regelung hier nun für jeden Verdichtungsraum adaptiv limitiert werden, während das bei dem bekannten Verfahren nicht möglich ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum stufenlosen Regeln der Fördermenge eines Hubkolbenverdichters durch zeitweiliges Offenhalten zumindest eines Saugventils mittels einer über ein steuerbares Druckmedium betätigten Abhebevorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß in an sich bekannter Weise jeweils der Zeitpunkt bzw. der Kurbelwinkel bzw. die Kolbenstellung, bei dem bzw. der das Saugventil schließt, bestimmt wird, und daß diese(r) Zeitpunkt bzw. Kurbelwinkel bzw. Kolbenstellung als Regelgröße für die Mengenregelung durch Änderung der Stellgröße Mediumdruck an der Abhebevorrichtung verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schließen des Saugventils in an sich bekannter Weise über eine Vibrationsmessung oder Schallmessung, vorzugsweise Körperschallmessung in der Nähe des jeweiligen Saugventils, bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die Beziehung Schließzeitpunkt bzw. -winkel des Saugventils zu Fördermenge vor der Verwendung des Schließzeitpunktes bzw. -winkels als Regelgröße eine Linearisierungsfunktion angewandt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Verhinderung eines Abschnappens bzw. ständigen Offenbleibens des Saugventils der Schließzeitpunkt, bei dem das Saugventil spätestens schließen muß, für jeden Zylinder festgestellt und als Begrenzung mit Sicherheitsabstand fix eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Verhinderung eines Abschnappens bzw. ständigen Offenbleibens des Saugventils jeweils die Änderung der Stellgröße (R) und die zugehörige Änderung des Schließzeitpunktes (S) des Saugventils bestimmt werden und daß der Quotient der beiden Änderungen ($\Delta R/\Delta S$) auf einen Wert >0 begrenzt wird.
6. Vorrichtung zum stufenlosen Regeln der Fördermenge eines Hubkolbenverdichters durch zeitweiliges Offenhalten zumindest eines Saugventils mittels einer über ein steuerbares Druckmedium betätigten Abhebevorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß in an sich bekannter Weise zur Bestimmung des Schließzeitpunktes des Saugventils (3) ein Vibrationssensor oder Schallsensor (6), vorzugsweise Körperschallsensor, vorzugsweise in der Nähe des jeweiligen Saugventils (3), vorgesehen ist, daß der

AT 402 090 B

Schallsensor (6), gegebenenfalls über eine Signalaufbereitungseinheit, mit einer Regeleinheit (10) für die Stellgröße (R) Druck des Druckmediums der Abhebevorrichtung (4, 5) in Verbindung steht und daß die Regeleinheit (10) mit einer Begrenzungseinheit (14) für die Stellgröße (R) in Verbindung steht, der einerseits die Änderung der Stellgröße (R) und andererseits die zugehörige Änderung des Schließzeitpunktes (S) des Saugventils (3) zugeführt ist.

5

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

