

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.06.2016 Patentblatt 2016/26

(51) Int Cl.: **F04D 7/04** (2006.01) **F04D 13/08** (2006.01)
F04D 15/02 (2006.01) **F04D 31/00** (2006.01)
F04D 15/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15189340.1**

(22) Anmeldetag: **12.10.2015**

(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

(71) Anmelder: **Sulzer Management AG**
8401 Winterthur (CH)

(72) Erfinder: **Schneider, Lorenz**
8200 Schaffhausen (CH)

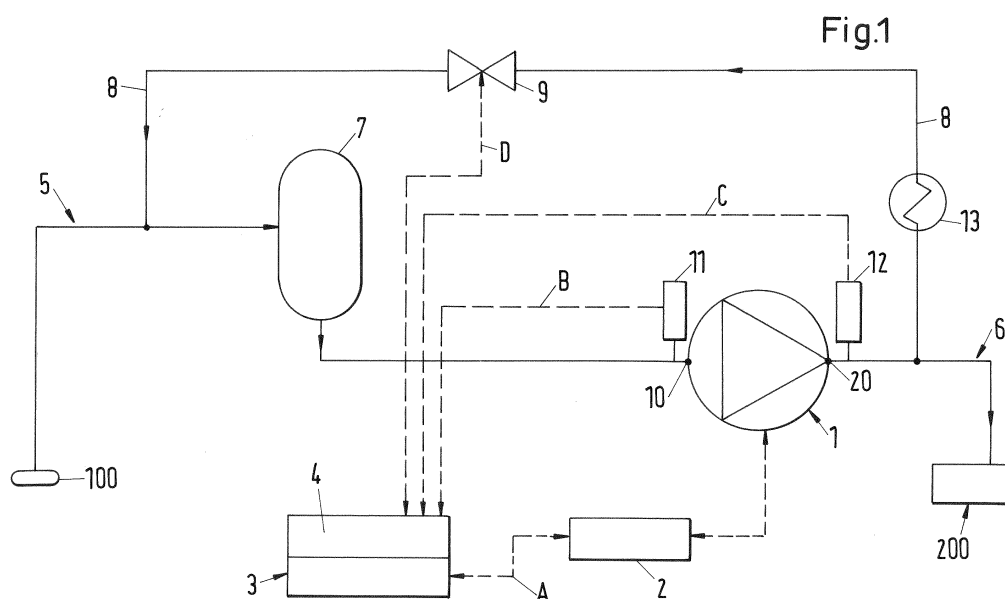
(74) Vertreter: Intellectual Property Services GmbH
Langfeldstrasse 88
8500 Frauenfeld (CH)

(30) Priorität: 18.12.2014 EP 14198870

(54) **BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINE PUMPE, INSBESONDERE EINE MULTIPHASENPUMPE SOWIE PUMPE**

(57) Betriebsverfahren für eine Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe, wobei eine Rückführleitung (8) zum Rückführen des Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite vorgesehen ist, bei welchem Verfahren mittels einer Pumpgrenzkontrolleinheit (4) zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands ein Kontrollventil (9) in der Rückführleitung (8) angesteuert wird, welches den Durchfluss durch die Rückführleitung (8) kontrolliert, wobei eine Grenzkurve (60, 60') für einen Kontrollparameter in der Pumpgrenzkontrolleinheit (4) vorgehalten wird, ein aktueller Wert des Kontrollpara-

ters während des Betriebs der Pumpe mit der Grenzkurve (60, 60') verglichen wird und wobei, sobald der aktuelle Wert des Kontrollparameters die Grenzkurve (60, 60') erreicht, das Kontrollventil (9) derart angesteuert wird, dass sich der aktuelle Wert des Kontrollparameters von der Grenzkurve (60, 60') entfernt, und wobei als Kontrollparameter ein Betriebsparameter der Pumpe (1) verwendet wird. Ferner wird eine entsprechende Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe (1), vorgeschlagen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für eine Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe sowie eine Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe zum Fördern eines Fluids gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Patentanspruchs der jeweiligen Kategorie.

[0002] Multiphasenpumpen sind Pumpen, mit denen Fluide gefördert werden können, die ein Gemisch aus mehreren Phasen enthalten, beispielsweise eine flüssige Phase und eine gasförmige Phase. Solche Pumpen sind seit langem wohl bekannt und werden in zahlreichen Ausführungsformen, häufig als Zentrifugalpumpen, hergestellt, beispielsweise als ein- oder doppelflutige Pumpen und als einstufige oder mehrstufige Pumpen. Der Anwendungsbereich dieser Pumpen ist sehr breit, sie werden zum Beispiel in der Öl- und Gasindustrie zum Fördern von Erdöl-Erdgas-Gemischen verwendet und speziell als Druckerhöhungspumpen, die auch als Booster Pumpen bezeichnet werden.

[0003] Es ist eine bekannte Technologie, mit solchen Druckerhöhungspumpen die Ausnutzung bzw. die Abschöpfung von Ölfeldern zu erhöhen oder zu verlängern. Insbesondere, wenn der natürlich vorhandene Druck in einem Ölfeld mit zunehmender Ölförderung abnimmt, wird mit einer Booster Pumpe der auf dem Bohrloch lastende Druck durch das Fördern der Pumpe abgesenkt, sodass das Öl weiterhin aus dem Bohrloch austreten kann.

[0004] Sehr häufig müssen diese Druckerhöhungspumpen hohe Drücke generieren, weil die Bohrlöcher sehr tief oder schwer zugänglich liegen, sodass sehr lange Leitungen oder Pipelines zwischen dem Bohrloch und den Verarbeitungs- oder Speichereinrichtungen notwendig sind. Dies trifft insbesondere auch bei Untersee-Anwendungen zu, wenn beispielsweise der Austritt des Bohrlochs auf dem Meeresgrund liegt und die Verarbeitungs- oder Speichereinrichtungen an Land, auf einer Bohrplattform oder auf einem Schiff als FPSO (Floating Production Storage and Offloading Unit) vorgesehen sind. Gerade in solchen Fällen muss eine Booster Pumpe über grosse geodätische Höhen fördern und einen entsprechend hohen Druck generieren können.

[0005] Die Effizienz und die Leistungsfähigkeit einer Multiphasenpumpe hängt sehr stark von der aktuellen Phasenzusammensetzung bzw. Phasenverteilung des zu fördernden Mehrphasenfluids ab. Die relativen Volumenanteile der flüssigen und der gasförmigen Phase - beispielsweise bei der Ölförderung - unterliegen sehr grossen Schwankungen, was zum einen an der natürlichen Quelle liegt, zum anderen aber auch durch die Verbindungsleitungen verursacht wird. Hier gibt es mehrere Effekte, durch die sich die flüssige Phase in gewissen Bereichen ansammeln kann, bis der Leitungsquerschnitt vollkommen mit der flüssigen Phase gefüllt ist, sodass es stromaufwärts zu einer Druckerhöhung in der gasförmigen Phase kommt, bis der Druck so gross wird, dass

die flüssige Phase schlagartig ausgestossen wird. Andere Wechselwirkungen zwischen der gasförmigen und der flüssigen Phase können auch zu Druckpulsationen in der Leitung führen. Die Schwankungen in der Phasenverteilung des Multiphasenfluids werden somit auch durch die Architektur und die Dynamik des Leitungssystems verursacht.

[0006] Solche Effekte können verursachen, dass die Multiphasenpumpe aufgrund einer zu geringen Flussrate in einen instabilen Betriebszustand gerät, der auch als Surge bzw. Surging bezeichnet wird. Solche instabilen Betriebszustände zeichnen sich durch extrem schwankende Flussraten, Druckschläge, grosse Leistungs- und Druckschwankungen sowie starke Vibrationen der Pumpe aus. Solche instabilen Betriebszustände stellen eine extrem starke Belastung für die Pumpe selbst und die benachbarten Installationen dar. Wird eine Multiphasenpumpe zu lange in einem solchen instabilen Betriebszustand betrieben, kann dies zu vorzeitiger Materialermüdung, einem deutlich höheren Verschleiss, zu Defekten bis hin zum Ausfall der kompletten Pumpe führen, wodurch nachteilige Auswirkungen auf die stromabwärts der Pumpe vorgesehene Installationen resultieren. Es kann sogar durch den Ausfall der Multiphasenpumpe passieren, dass der gesamte Produktionsprozess unterbrochen wird, was natürlich unter wirtschaftlichen Aspekten sehr nachteilig ist.

[0007] Zum Abfangen oder zumindest zum Abschwächen der durch Variationen in der Phasenverteilung resultierenden Probleme ist es bekannt, stromaufwärts der Multiphasenpumpe einen Puffertank vorzusehen, dessen Volumen und innere Ausgestaltung an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst wird. Dieser Puffertank wirkt quasi wie ein Filter oder wie ein Integrator und kann so plötzliche Änderungen in der Phasenverteilung des Fluids absorbieren oder dämpfen, sodass sie nicht oder nur stark abgeschwächt an den Einlass der Multiphasenpumpe vordringen können.

[0008] Da solche Puffertanks aber nicht beliebig gross ausgestaltet werden können und zudem auch nicht alle Variationen der Phasenverteilung heraus dämpfen können, wird bei einer Multiphasenpumpe häufig eine Unterfluss-Sicherung oder eine Pumpgrenzregelung vorgesehen, die üblicherweise auch als Surge Control oder Surge Protection bezeichnet wird und die es verhindern soll, dass die Multiphasenpumpe in einen solchen instabilen Betriebszustand gerät. Für die Pumpgrenzkontrolle oder -regelung ist es eine bekannte Massnahme, eine Rückführleitung vorzusehen, durch welche das von der Multiphasenpumpe geförderte Fluid von der Druckseite der Pumpe auf die Saugseite rückgeführt werden kann. In dieser Rückführleitung sind ein oder auch mehrere, beispielsweise zwei, Kontrollventile vorgesehen, die von der Pumpgrenzregelung angesteuert werden können und dementsprechend einen kleineren oder grösseren Fluss durch die Rückführleitung ermöglichen. Sind beispielsweise zwei Kontrollventile vorgesehen, so ist häufig eines dafür gedacht, Schwankungen in der Phasen-

verteilung auszugleichen, während das andere im Falle extrem grosser Schwankungen sehr schnell den gesamten Strömungsquerschnitt der Rückföhrleitung öföfnet. Die Logik der Pumpgrenzregelung ist meistens in die Kontrolleinrichtung der Pumpe integriert, welche heutzutage regelmässige als digitales Kontrollsystem ausgestaltet ist.

[0009] Insbesondere im Falle sehr hoher Gasanteile in dem zu fördernden Multiphasenfluid kann in der Rückföhrleitung auch ein Köhlssystem vorgesehen sein, um eine zu starke Wärmebelastung oder Wärmeansammlung zu vermeiden.

[0010] Ferner ist zwischen der Einmündung der Rückföhrleitung auf der Saugseite und dem Einlass der Multiphasenpumpe ein Flussmesser vorgesehen.

[0011] Für die Pumpgrenzregelung ist üblicherweise in der entsprechenden Kontrolleinheit eine Grenzkurve gespeichert, bei deren Erreichen Gegenmassnahmen zu treffen sind. Die Grenzkurve wird basierend auf einer unteren Pumpgrenzlinie festgelegt, die angibt, bei welchen Parameterkonstellationen der Übergang in einen instabilen Betriebszustand erfolgt. Diese Pumpgrenzlinie wird aufgrund von Erfahrungswerten und/oder experimentell bestimmten Daten ermittelt. Die Grenzkurve wird dann mit einem gewissen "Sicherheitsabstand" von der Pumpgrenzlinie festgelegt, um während des Betriebs der Pumpe instabile Betriebszustände zu vermeiden. Gelangt die Pumpe während des Betriebs an die Grenzkurve, so steuert die Pumpgrenzregelung das Kontrollventil oder die Kontrollventile so an, dass der Rückstrom in der Rückföhrleitung vergrössert wird, sodass sich die Pumpe wieder von der Grenzkurve entfernt.

[0012] Heute bekannte Pumpgrenzregelungen oder Unterfluss-Sicherungen verlangen die Kenntnis der aktuellen Flussrate, der aktuellen Phasenverteilung des geförderten Multiphasenfluids und die aktuelle Rotationsgeschwindigkeit der Pumpe. Eine direkte Messung der Flussrate und der aktuellen Phasenverteilung mit einem einzigen Instrument oder Sensor ist jedoch nicht möglich, weil es solche Messinstrumente nicht gibt. Daher muss der Flussmesser als Multiphasen-Flussmesser ausgestaltet sein. Der Multiphasen-Flussmesser bestimmt die Flussrate basierend auf einer simultanen messtechnischen Erfassung direkt zugänglicher Prozessgrössen wie z. B. Absolutdruck, Differenzdruck, Dichte, Temperatur, die dann in einem semi-empirischen Modell verarbeitet werden, um die aktuelle Flussrate und die aktuelle Phasenverteilung des Fluids im Multiphasen-Flussmesser zu ermitteln oder abzuschätzen.

[0013] Solche Multiphasen-Flussmesser sind sehr komplizierte, kostenintensive und aufwendige Vorrichtungen, die einige weitere Nachteile haben. Die verschiedenen Sensoren in einem Multiphasen-Flussmesser zur Messung der verschiedenen Prozessgrössen haben sehr grosse Variationen bezüglich der Aktualisierungsrate der jeweils ermittelten Prozessgrösse. Natürlich bestimmt dann der Sensor mit der kleinsten Aktualisierungsrate die maximal mögliche Aktualisierungsrate des

Multiphasen-Flussmessers. Diese maximale Aktualisierungsrate ist manchmal nicht ausreichend, um eine zuverlässige Pumpengrenzkontrolle oder eine zuverlässige Unterfluss-Sicherung zu gewährleisten. Insbesondere bei Untersee-Installationen und der damit verbundenen maritimen Umgebung haben die entsprechenden Vorrichtungen noch geringere Aktualisierungsraten, was die dynamische Leistungsfähigkeit der Pumpgrenzregelung weiter reduziert. Da somit grössere Sicherheitsabstände von der Grenzkurve notwendig sind, um instabile Betriebszustände zu vermeiden, wird der Betriebsbereich der Multiphasenpumpe weiter eingeschränkt.

[0014] Zudem erfordern diese komplexen Multiphasen-Flussmesser einen erheblichen Platz für ihre Installation, der oft nicht zur Verfügung steht, beispielsweise auf Plattformen, FPSOs oder in einer Unterseeanordnung auf dem Meeresboden.

[0015] Ferner weist der Strom eines Multiphasenfluids dynamische Effekte auf, welche die aktuelle Phasenverteilung entlang der Leitung verändern. Daher wäre es für eine robuste und zuverlässige Pumpgrenzkontrolle wünschenswert, die Flussraten unmittelbar stromaufwärts des Einlasses der Pumpe zu messen, damit auch wirklich die in der Multiphasenpumpe vorliegende Phasenverteilung bestimmt wird. Die Installation eines Multiphasen-Flussmessers unmittelbar stromaufwärts des Einlasses der Pumpe ist aber oft überhaupt nicht möglich, beispielsweise aus Platzgründen.

[0016] Ähnliche Probleme können auch bei Einphasenpumpen auftreten, also bei Pumpen, die zur Förderung eines einphasigen Fluids, beispielsweise einer Flüssigkeit dienen. Auch hier ist es häufig notwendig oder erwünscht, Pumpgrenzregelungen oder Unterfluss-Sicherungen für die Pumpe vorzusehen. Heute bekannte Pumpgrenzregelungen verwenden üblicherweise Signale von Flussmessern, die in sinngemäss gleicher Weise wie vorangehend anhand der Multiphasen-Flussmesser beschrieben, den Durchfluss des Fluids messen. Auch mit diesen Flussmessern ergeben sich ähnliche Probleme wie weiter vorne beschrieben, nämlich insbesondere, dass sie häufig nicht oder nur mit grossem Aufwand an der gewünschten Stelle platziert werden können und dass ihre Aktualisierungsraten häufig zu gering sind oder die Verzögerungen in der Signalübertragung zu gross sind, sodass die Pumpgrenzregelung mit sehr grossen Sicherheitsabständen ausgelegt werden muss. Dadurch wird der Betriebsbereich, in welchem die Pumpe sicher betrieben werden kann, eingeschränkt.

[0017] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es daher eine Aufgabe der Erfindung, ein Betriebsverfahren für eine Pumpe, insbesondere für eine Multiphasenpumpe und eine entsprechende Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe vorzuschlagen, bei welchen in einfacher Weise eine zuverlässige Pumpgrenzkontrolle bzw. eine zuverlässige Unterfluss-Sicherung realisiert ist, die insbesondere nicht auf komplizierte Multiphasen-Flussmesser oder Flussmesser angewiesen ist.

[0018] Die diese Aufgabe lösenden Gegenstände der Erfindung sind durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs der jeweiligen Kategorie gekennzeichnet.

[0019] Erfindungsgemäss wird also ein Betriebsverfahren für eine Pumpe, insbesondere für eine Multiphasenpumpe, zum Fördern eines Fluids von einer Niederdruckseite auf eine Hochdruckseite vorgeschlagen, wobei eine Rückführleitung zum Rückführen des Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite vorgesehen ist, bei welchem Verfahren mittels einer Pumpgrenzkontrolleinheit zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands ein Kontrollventil in der Rückführleitung angesteuert wird, welches den Durchfluss durch die Rückführleitung kontrolliert, wobei eine Grenzkurve für einen Kontrollparameter in der Pumpgrenzkontrolleinheit vorgehalten wird, ein aktueller Wert des Kontrollparameters während des Betriebs der Pumpe mit der Grenzkurve verglichen wird und wobei, sobald der aktuelle Wert des Kontrollparameters die Grenzkurve erreicht, das Kontrollventil in der Rückführleitung derart angesteuert wird, dass sich der aktuelle Wert des Kontrollparameters von der Grenzkurve entfernt, und wobei als Kontrollparameter ein Betriebsparameter der Pumpe verwendet wird.

[0020] Mit dem Begriff "Betriebsparameter" sind solche Parameter gemeint, die den Betrieb der Pumpe bestimmen und die von der Kontroll- oder Steuereinrichtung der Pumpe eingestellt werden können, also beispielsweise die Drehzahl der Pumpe, ihre Leistungsaufnahme, das Drehmoment mit dem die Pumpe angetrieben wird, usw.. Insbesondere sind solche Grössen keine Betriebsparameter im Sinne dieser Anmeldung, welche durch das Fluid selbst vorgegeben sind, also beispielsweise die Phasenverteilung des Fluids (im Falle eines Mehrphasenfluids) oder seine Viskosität, denn diese Grössen können nicht an der Pumpe selbst eingegeben bzw. eingestellt werden.

[0021] Dadurch, dass die Pumpgrenzkontrolleinheit einen Betriebsparameter zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands der Pumpe verwendet, ist es nicht mehr notwendig, messtechnisch - wenn überhaupt - nur sehr schwierig zu erfassende Grössen, wie beispielsweise die aktuelle Phasenverteilung in dem zu fördernden Fluid, abzuschätzen bzw. zu ermitteln. Insbesondere kann auf so komplizierte und sehr kostenintensive Vorrichtungen wie ein Multiphasen-Flussmesser oder auch auf einen Flussmesser verzichtet werden und dennoch eine zuverlässige und stabile Grenzkontrollregelung bzw. Unterfluss-Sicherung der Pumpe, insbesondere der Multiphasenpumpe gewährleistet werden.

[0022] Gemäss einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung gibt die Grenzkurve einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Betriebsparameter und der von der Pumpe, insbesondere der Multiphasenpumpe, generierten Druckdifferenz an, weil diese Druckdifferenz sehr einfach bestimmbar bzw. messtechnisch erfassbar ist.

[0023] Vorzugsweise wird zum Vergleich des aktuellen

Werts des Betriebsparameters mit der Grenzkurve die Druckdifferenz zwischen dem Druck an einem Einlass und dem Druck an einem Auslass der Pumpe messtechnisch erfasst. Hierdurch lässt sich in einfacher Weise sicherstellen, dass jeweils der aktuelle Wert genau der Druckdifferenz erfasst wird, die gerade von der Pumpe generiert wird.

[0024] In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der von der Pumpgrenzkontrolleinheit verwendete Betriebsparameter in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Drehmoment steht, mit welchem die Pumpe angetrieben wird.

[0025] Insbesondere bevorzugt wird als Betriebsparameter das Drehmoment verwendet, mit welchem die Pumpe angetrieben wird. Überraschend ist hierbei die Erkenntnis, dass die Abhängigkeit des momentanen Drehmoments von der von der Pumpe generierten Druckdifferenz die Festlegung einer Grenzkurve ermöglicht, mit der in zuverlässiger Weise verhindert werden kann, dass die Pumpe in einen instabilen Betriebszustand gelangt.

[0026] Eine bevorzugte Massnahme besteht dabei darin, dass die Grenzkurve die Abhängigkeit des Drehmoments von der Druckdifferenz angibt, bei welcher die Pumpe noch sicher in einem stabilen Betriebszustand betrieben wird. Das bedeutet, dass die Grenzkurve vorzugsweise so festgelegt wird, dass sie nicht exakt dort verläuft, wo der Übergang der Pumpe in einen instabilen Betriebszustand erfolgt, sondern, dass eine Sicherheitsreserve vorgesehen wird.

[0027] Dazu ist es vorteilhaft, wenn die Grenzkurve beabstandet zu einer unteren Pumpgrenzlinie festgelegt wird, wobei die untere Pumpgrenzlinie den jeweiligen Wert des Betriebsparameters angibt, bei welchem die Pumpe in einen instabilen Betriebszustand übergeht.

[0028] Bevorzugt wird diese untere Pumpgrenzlinie mit Hilfe von experimentellen Testdaten ermittelt, zu deren Bestimmung die Pumpe in einen instabilen Betriebszustand geführt wird. Dies kann beispielsweise vor Inbetriebnahme der Pumpe in einem Teststand erfolgen, wo die Pumpe dann bewusst in den instabilen Betriebszustand (Surging) gebracht wird, um so zu ermitteln, bei welchen Werten des Betriebsparameters dieser Übergang erfolgt.

[0029] Natürlich kann es auch vorteilhaft sein, wenn zur Bestimmung der unteren Pumpgrenzlinie Erfahrungswerte verwendet werden. Hierdurch lässt sich durch Reduzierung des experimentellen Aufwands Zeit sparen, um die untere Pumpgrenzlinie für die jeweilige Pumpe zu ermitteln.

[0030] Aus apparativer Sicht ist es bevorzugt, wenn die Pumpgrenzkontrolleinheit in eine Kontrolleinrichtung für die Ansteuerung der Pumpe integriert wird.

[0031] Um den Aufwand zu minimieren und damit das Betriebsverfahren besonders einfach zu machen, ist es eine vorteilhafte Massnahme, wenn der aktuelle Wert des Betriebsparameters von einem variablen Frequenzantrieb für die Pumpe bereitgestellt wird.

[0032] Eine bevorzugte Anwendung des Betriebsverfahrens ist es, wenn die Pumpe als Druckerhöhungspumpe (Booster Pumpe) in der Öl- und Gasförderung verwendet wird, insbesondere in der unterseeischen Öl- und Gasförderung.

[0033] Durch die Erfindung wird ferner eine Pumpe, insbesondere eine Multiphasenpumpe, zum Fördern eines Fluids von einer Niederdruckseite auf eine Hochdruckseite vorgeschlagen, mit einem Einlass und einem Auslass für das Fluid, und mit einer Pumpgrenzkontrolleinheit zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands, welche ein Ansteuersignal für ein Kontrollventil in einer Rückführleitung zum Rückführen des Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite bereitstellt, wobei in der Pumpgrenzkontrolleinheit eine Grenzkurve für einen Kontrollparameter vorhanden ist, wobei die Pumpgrenzkontrolleinheit einen aktuellen Wert des Kontrollparameters während des Betriebs der Pumpe mit der Grenzkurve vergleicht, und wobei die Pumpgrenzkontrolleinheit, sobald der aktuelle Wert des Kontrollparameters die Grenzkurve erreicht, das Ansteuersignal zur Verfügung stellt, welches das Kontrollventil in der Rückführleitung derart ansteuern kann, dass sich der aktuelle Wert des Kontrollparameters von der Grenzkurve entfernt, wobei der Kontrollparameter ein Betriebsparameter der Pumpe ist.

[0034] Die Vorteile und die bevorzugten Ausgestaltungen der Pumpe entsprechen dabei denjenigen, die vorangehend im Zusammenhang mit dem erfindungsgemässen Betriebsverfahren erläutert sind.

[0035] Insbesondere ist es auch bezüglich der Pumpe besonders bevorzugt, wenn der Betriebsparameter das Drehmoment zum Antreiben der Pumpe ist und die Grenzkurve die Abhängigkeit des Drehmoments von der Druckdifferenz zwischen dem Druck am Einlass und dem Druck am Auslass angibt.

[0036] Vorzugsweise ist die Pumpe als Zentrifugalpumpe und als Druckerhöhungspumpe für die Öl- und Gasförderung, insbesondere für die unterseeischen Öl- und Gasförderung ausgestaltet.

[0037] Durch das erfindungsgemässe Betriebsverfahren bzw. die erfindungsgemässe Pumpe ist eine äusserst zuverlässige Pumpgrenzkontrolle zur Vermeidung instabiler Betriebszustände möglich. Da der für die Kontrolle benötigte Betriebsparameter sehr einfach und mit einer sehr hohen Aktualisierungsrate zur Verfügung steht, können auch sehr schnelle Änderungen in den Prozessbedingungen erkannt und darauf reagiert werden. Speziell bei Untersee-Anwendungen ist durch die Verwendung des Betriebsparameters der Pumpe gewährleistet, dass es zu keinen Signalverzögerungen kommt, die beispielsweise durch die unterseeisch installierten Komponenten bzw. ihre Verbindung zu den oberseeisch angeordneten Komponenten verursacht wird. Weiterhin resultiert der Vorteil, dass der Sicherheitsabstand von den instabilen Betriebszuständen verkleinert bzw. minimiert werden kann, sodass die Pumpe in einem deutlich grösseren Betriebsbereich betrieben werden kann.

[0038] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemässen Betriebsverfahrens bzw. der erfindungsgemässen Pumpe besteht darin, dass sie auch in bereits existierenden Pumpen problemlos nachgerüstet werden können bzw. existierende Pumpen in einfacher Weise zu erfindungsgemässen Pumpen modifiziert werden können. Häufig sind dazu keine grösseren apparativen Abänderungen vonnöten.

[0039] Weitere vorteilhafte Massnahmen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0040] Im Folgenden wird die Erfindung sowohl in apparativer als auch in verfahrenstechnischer Hinsicht anhand von Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung,

Fig. 2: eine Darstellung des Zusammenhangs der von dem Ausführungsbeispiel der Multiphasenpumpe generierten Druckdifferenz mit der Flussrate, und

Fig. 3: eine Darstellung einer Grenzkurve und einer unteren Pumpgrenzlinie in einem Auftrag des Drehmoments gegen die Druckdifferenz.

[0041] Fig. 1 veranschaulicht in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung sowohl in apparativer als auch in verfahrenstechnischer Hinsicht. Anhand von Fig. 1 wird im Folgenden ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Betriebsverfahrens und ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Pumpe, welche hier als Multiphasenpumpe ausgestaltet ist, erläutert, die gesamthaft mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet ist. Dabei wird mit beispielhaftem Charakter auf den in der Praxis wichtigen Anwendungsfall Bezug genommen, dass die Multiphasenpumpe 1 als Zentrifugalpumpe ausgestaltet ist und als Druckerhöhungspumpe, die üblicherweise auch als Booster Pumpe bezeichnet wird. In diesem Anwendungsfall wird die Multiphasenpumpe für die Öl- und Gasförderung und insbesondere für die unterseeische Öl- und Gasförderung eingesetzt, bei der sich der Ausgang eines Bohrlochs 100 auf dem Meeresgrund befindet, von wo das Erdöl und das Erdgas zu einer oberhalb des Meeres angeordneten Speicher- und Verarbeitungsvorrichtung 200 gefördert wird. Das Bohrloch 100 erstreckt sich bis in ein Ölfeld, welches in Fig. 1 nicht dargestellt ist. Die Speicher- und Verarbeitungsvorrichtung 200 kann dabei auf dem Festland installiert sein oder auch im Offshore-Bereich, beispielsweise auf einer Plattform, die auf dem Meeresboden verankert ist. Die Speicher- und Verarbeitungsvorrichtung 200 kann natürlich auch auf dem Meer schwimmend angeordnet sein, beispielsweise in Form einer FPSO.

[0042] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist also das von der Multiphasenpumpe 1 zu fördernde Fluid ein Multiphasenfluid, das zumindest eine gasförmige und eine flüssige Phase umfasst. Die Aufgabe der als Booster Pumpe verwendeten Multiphasenpumpe 1 ist es dabei, den Druck am Ausgang des Bohrlochs 100 abzusenken, beispielsweise auf einen Wert im Bereich von 10 bar bis 40 bar, damit das Fluid aus dem Bohrloch 100 austreten kann, bzw. die Flussrate des aus dem Bohrloch 100 geförderten Fluids erhöht wird. Diese an sich bekannte Massnahme ist insbesondere mit zunehmender Abschöpfung des Ölfelds vorteilhaft, weil dann der natürliche Druck, unter dem das Ölfeld steht, abnimmt. Die Multiphasenpumpe 1 kann beispielsweise Druckdifferenzen von bis zu 150 bar generieren, wobei die generierte Druckdifferenz natürlich stark von der aktuellen Dichte des Fluids und damit seiner aktuellen Phasenverteilung abhängt. Je nach Anwendungsfall kann die Multiphasenpumpe 1 auf dem Meeresboden in der Nähe des Bohrlochs 100 oder in einiger Entfernung von diesem angeordnet sein, oder im Offshore-Bereich, also beispielsweise auf einer (Bohr-) Plattform oder einer FPSO, oder auch an Land.

[0043] Natürlich ist die Erfindung nicht auf diesen konkreten Anwendungsfall beschränkt, sondern eignet sich auch für alle anderen Anwendungen, in denen Multiphasenpumpen verwendet oder eingesetzt werden können. Insbesondere ist die Erfindung geeignet für Multiphasenpumpen, die Zentrifugalpumpen sind. Auch ist die Erfindung nicht auf Multiphasenpumpen beschränkt, sondern eignet sich allgemein für Pumpen, also auch für Einphasenpumpen, bei welchen das zu fördernde Fluid nur eine Phase enthält, also beispielsweise eine Flüssigkeit ist.

[0044] In Fig. 1 sind Leitungen, durch welche das Fluid strömen kann, mit durchgezogenen Linien dargestellt, während Signalverbindungen gestrichelt dargestellt sind.

[0045] Die Multiphasenpumpe 1 umfasst einen Einlass 10, durch welchen das Fluid in die Multiphasenpumpe 1 gelangt sowie einen Auslass 20, durch welchen das geförderte Fluid die Multiphasenpumpe 1 verlässt. Im Folgenden wird der stromaufwärts der Multiphasenpumpe 1 gelegene Bereich als Niederdruckseite bezeichnet und der stromabwärts gelegene Bereich als Hochdruckseite.

[0046] Am Einlass 10 der Multiphasenpumpe 1 ist ein erster Drucksensor 11 vorgesehen, mit welchem derjenige Druck messbar ist, mit dem das Fluid in die Multiphasenpumpe 1 einströmt. Am Auslass 20 der Multiphasenpumpe ist ein zweiter Drucksensor 12 vorgesehen, mit welchem derjenige Druck messbar ist, mit dem das Fluid die Multiphasenpumpe 1 verlässt. Aus dem Differenzsignal der beiden Drucksensoren 11, 12 ist somit der jeweils aktuelle Wert der von der Multiphasenpumpe 1 generierten Druckdifferenz ermittelbar. Als Drucksensoren 11, 12 eignen sich alle an sich bekannten Drucksensoren. Vorzugsweise sind die Drucksensoren 11, 12 jeweils unmittelbar am Einlass 10 bzw. am Auslass 20 der

Multiphasenpumpe 1 angeordnet.

[0047] Die Multiphasenpumpe 1 wird von einem variablen Frequenzantrieb 2 (Variable frequency drive VFD oder auch variable speed drive VSD) angetrieben, welcher die Welle der Multiphasenpumpe 1 mit dem darauf angeordneten Laufrad bzw. den darauf angeordneten Laufrädern (nicht dargestellt) in Rotation versetzt. Der variable Frequenzantrieb 2 ist mit einer Kontrolleinrichtung 3 für die Ansteuerung der Multiphasenpumpe signalverbunden, wie dies der Doppelpfeil A in Fig. 1 andeutet und kann mit der Kontrolleinrichtung 3 bidirektional Daten austauschen. Die Kontrolleinrichtung 3 ist vorzugsweise als digitale Kontrolleinrichtung 3 ausgestaltet.

[0048] Die beiden Drucksensoren 11 und 12 sind jeweils signalverbunden mit der Kontrolleinrichtung 3, wie dies die beiden Pfeile B und C in Fig. 1 andeuten.

[0049] Ferner ist eine Pumpgrenzkontrolleinheit 4 zum Vermeiden von instabilen Betriebszuständen der Multiphasenpumpe 1 vorgesehen, die vorzugsweise in die Kontrolleinrichtung 3 integriert ist. Für die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 werden üblicherweise auch die Bezeichnungen "Unterfluss-Sicherung" oder "Surge Control" verwendet.

[0050] Der Einlass 10 der Multiphasenpumpe 1 ist niederdruckseitig über eine Zuführleitung 5 mit dem Bohrloch 100 verbunden, durch welche das Fluid von dem Bohrloch 100 zum Einlass 10 strömen kann. Der Auslass 20 der Multiphasenpumpe 1 ist hochdruckseitig über eine Auslassleitung 6 mit der Speicher- und Verarbeitungsvorrichtung 200 verbunden, durch welche das Fluid von der Multiphasenpumpe 1 zur Speicher- und Verarbeitungsvorrichtung 200 strömen kann. Je nachdem, wo die Multiphasenpumpe 1 im jeweiligen Fall angeordnet ist, können die Zuführleitung 5 und die Auslassleitung 6 jeweils von weniger als ein Meter bis zu vielen Kilometern lang sein.

[0051] In der Zuführleitung 5 ist vorzugsweise ein Puffertank 7 vorgesehen, der in an sich bekannter Weise dazu dient, Variationen in der Phasenverteilung des Fluids auszugleichen. Diese Variationen können verursacht werden durch natürlich bedingte Schwankungen des Gas-Flüssigkeits-Verhältnisses des aus dem Bohrloch austretenden Fluids oder auch durch die Architektur und die Leitungsdynamik der Zuführleitung 5. Der Puffertank 7 wirkt wie ein Filter oder ein Integrator und kann so plötzliche Änderungen in der Phasenverteilung des Fluids absorbieren oder dämpfen.

[0052] Ferner ist eine Rückführleitung 8 für das Fluid vorgesehen, welche die Hochdruckseite mit der Niederdruckseite verbindet. Die Rückführleitung 8 zweigt stromabwärts des Auslasses 20 der Multiphasenpumpe 1 von der Auslassleitung 6 ab und mündet stromaufwärts des Puffertanks 7 in die Zuführleitung 5, sodass das Fluid durch die Rückführleitung 8 von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite zurückgeführt werden kann. In der Rückführleitung 8 ist mindestens ein Kontrollventil 9 vorgesehen, welches mit der Pumpgrenzkontrolleinheit 4 signalverbunden ist, so wie dies der Pfeil D in Fig. 1 an-

deutet. Das Kontrollventil 9 ist als Regelventil ausgestaltet, mit welchem der Strömungsquerschnitt der Rückföhrleitung 8 vom vollkommen verschlossenen Zustand (keine Rückföhrung von Fluid) bis zum vollkommen geöffnerten Zustand (maximaler Strömungsquerschnitt geöffnert) verändert werden kann. Die Rückföhrleitung 8 dient der Pumpgrenzkontrolle und damit der Vermeidung von instabilen Betriebszuständen der Multiphasenpumpe 1, die auch als Surging bezeichnet werden.

[0053] Falls der Fluss durch die Multiphasenpumpe 1 gross genug ist, ist das Kontrollventil 9 vollkommen geschlossen, sodass kein Fluid durch die Rückföhrleitung 8 auf die Niederdruckseite zurückströmen kann. Falls wie weiter hinten noch beschrieben wird, von der Pumpgrenzkontrolleinheit 4 das Überschreiten einer Grenzkurve für einen Kontrollparameter detektiert wird, was beispielsweise dadurch verursacht wird, dass zu wenig Fluid an den Einlass 10 gelangt (Unterfluss-Bereich), so steuert die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 das Kontrollventil 9 an, sodass dieses die Rückföhrleitung 8 teilweise oder ganz öffnet, damit ein Teil des geförderten Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite zurückströmen kann. Das Kontrollventil 9 wird dabei so weit geöffnert, bis der aktuelle Wert des Kontrollparameters wieder unter der Grenzkurve liegt.

[0054] Vorzugsweise ist das Kontrollventil 9 so ausgestaltet, dass es den offenen Strömungsquerschnitt der Rückföhrleitung 8 stufenlos vom vollkommen geschlossenen Zustand bis zum vollkommen geöffnerten Zustand verändern kann. Natürlich ist es auch möglich, in der Rückföhrleitung 8 mehr als ein, beispielsweise zwei, Kontrollventile vorzusehen, die dann in der Rückföhrleitung 8 parallel angeordnet sind. Alternativ können in der Rückföhrleitung 8 auch zwei Ventile hintereinander, also in Serie, angeordnet sein, wobei dann vorzugsweise eines der beiden Ventile ein schnelles Auf/Zu-Ventil ist und das andere Ventil ein Kontrollventil, das als Regelventil ausgestaltet ist.

[0055] Ferner kann in der Rückföhrleitung 8 eine Kühlung 13, beispielsweise ein Wärmetauscher, vorgesehen sein, um dem rezirkulierten Fluid Wärme zu entziehen. Diese Massnahme ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Fluid einen hohen Gasanteil hat. Durch die Kühlung 13 lassen sich dann Wärmeansammlungen verhindern.

[0056] Wie bereits erwähnt, verwendet die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 den aktuellen Wert eines Kontrollparameters, um instabile Betriebszustände der Multiphasenpumpe 1 bzw. der Pumpe 1 zu vermeiden. Erfindungsgemäss ist dieser Kontrollparameter ein Betriebsparameter. Wie bereits erläutert sind mit dem Begriff "Betriebsparameter" solche Parameter gemeint, die den Betrieb der Pumpe 1 bestimmen und die von der Kontrolleinrichtung 4 der Pumpe 1 eingestellt werden können, also beispielsweise die Drehzahl der Multiphasenpumpe 1, ihre Leistungsaufnahme, das Drehmoment mit dem die Multiphasenpumpe 1 angetrieben wird, usw. Betriebsparameter sind also solche Grössen, die den Be-

trieb der Pumpe 1 bzw. der Multiphasenpumpe 1 regeln und die direkt -oder indirekt über einen anderen Betriebsparameter- an der Pumpe 1 bzw. der Multiphasenpumpe 1 einstellbar sind.

[0057] Die Verwendung eines Betriebsparameters als Kontrollparameter hat insbesondere den Vorteil, dass solche Prozessgrössen, die nicht oder nur sehr aufwendig oder nur sehr ungenau bestimmbar sind, wie beispielsweise die aktuelle Phasenverteilung des Fluids, für die Pumpgrenzkontrolle nicht mehr bekannt sein müssen. Im Falle einer Ausgestaltung der Pumpe als Einphasenpumpe ist es beispielsweise nicht mehr notwendig, den aktuellen Fluss zu kennen, sodass auf Flussmesser verzichtet werden kann.

[0058] Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird der Zusammenhang zwischen dem Betriebsparameter und der von der Multiphasenpumpe 1 generierten Druckdifferenz für die Pumpgrenzkontrolle verwendet. Während des Betriebs der Multiphasenpumpe 1 ist diese Druckdifferenz messtechnisch sehr einfach und sehr genau mittels der beiden Drucksensoren 11 und 12 bestimmbar.

[0059] Zum besseren Verständnis zeigt Fig. 2 ein typisches Betriebsdiagramm der Multiphasenpumpe 1, in welchem der Zusammenhang der von der Multiphasenpumpe 1 generierten Druckdifferenz mit der Flussrate des von der Multiphasenpumpe 1 geförderten Fluids dargestellt ist. Auf der horizontalen Achse ist die Flussrate Q aufgetragen, auf der vertikalen Achse die Druckdifferenz DP . Bei einem Multiphasenfluid ist dieser Zusammenhang natürlich sehr stark abhängig von der Phasenverteilung des geförderten Fluids. Diese Phasenverteilung eines Fluids mit einer flüssigen und einer gasförmigen Phase wird üblicherweise mit dem GVF Wert (GVF: gas volume fraction) charakterisiert, welcher das Verhältnis aus dem Volumenstrom der Gasphase und dem Volumenstrom des Fluids angibt. Der GVF Wert liegt also zwischen 0 und 1 bzw. zwischen 0 und 100%, wobei der Wert 0 bedeutet, dass nur eine flüssige Phase vorliegt und der Wert 1 bzw. 100%, dass nur eine gasförmige Phase vorliegt.

[0060] Fig. 2 zeigt die Druckdifferenz DP in Abhängigkeit von der Flussrate Q für fünf verschiedenen GVF Werte. Auf den mit 101 bezeichneten und durchgezogen dargestellten Iso-GVF Kurven ist jeweils der GVF Wert konstant. Dabei entspricht die unterste oder darstellungsgemäss am weitesten links liegende Iso-GVF Kurve 101 dem grössten GVF Wert. Je höher bzw. darstellungsgemäss je weiter rechts die Iso-GVF Kurve 101 liegt, umso kleiner wird der zugehörige GVF Wert. Zusätzlich sind in Fig. 2 auch noch punkt-strichliert Iso-Leistungskurven 102 dargestellt, auf denen jeweils die von der Multiphasenpumpe 1 aufgenommene Leistung konstant ist.

[0061] Ferner ist in Fig. 2 eine untere Pumpgrenzlinie 50 (mit durchgezogener Linie) dargestellt, die üblicherweise auch als Surge Line bezeichnet wird. Wenn diese untere Pumpgrenzlinie 50 überschritten wird, sodass die Mehrphasenpumpe 1 in dem mit 40 bezeichneten Be-

reich oberhalb der unteren Pumpgrenzlinie 50 gelangt, so ist die Mehrphasenpumpe 1 in einem instabilen Betriebszustand. Anhand von Fig. 2 ist gut zu erkennen, wie Änderungen in der aktuellen Phasenverteilung des Fluids sehr plötzlich zum Überschreiten der unteren Pumpgrenzlinie 50 und damit in instabile Betriebszustände führen können. Eine Änderung der aktuellen Phasenverteilung entspricht beispielsweise einem Sprung von einer Iso-GVF Kurve 101 auf eine andere.

[0062] Um während des Betriebs der Multiphasenpumpe 1 solche instabilen Betriebszustände im Bereich 40 sicher zu vermeiden, legt man für den als Kontrollparameter genutzten Betriebsparameter eine Grenzkurve 60 fest, welche beabstandet von der unteren Pumpgrenzlinie 50 verläuft, in der Darstellung gemäss Fig. 2 unterhalb der unteren Pumpgrenzlinie 50. Die Grenzkurve 60 ist in Fig. 2 gestrichelt dargestellt.

[0063] Wenn nun während des Betriebs der Multiphasenpumpe 1 der als Kontrollparameter verwendete Betriebsparameter die Grenzkurve 60 erreicht, steuert die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 das Kontrollventil 9 so an, dass der Fluss durch die Rückföhrleitung 8 erhöht wird und zwar so weit bis sich der aktuelle Wert des als Kontrollparameter verwendeten Betriebsparameters von der Grenzkurve 60 und von dem Bereich 40 instabiler Betriebszustände entfernt.

[0064] Dafür ist es natürlich notwendig, dass man für den in der Pumpgrenzkontrolleinheit konkret verwendeten Betriebsparameter eine Grenzkurve bzw. eine untere Pumpgrenzlinie kennt und deren Verlauf in Abhängigkeit einer Grösse, die während des Betriebs der Multiphasenpumpe 1 einfach und zuverlässig mess- bzw. ermittelbar ist.

[0065] Dabei hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Abhängigkeit des Betriebsparameters von der Druckdifferenz, die aktuell von der Multiphasenpumpe 1 generiert wird, bestimmt wird. Die Grenzkurve oder die untere Pumpgrenzlinie gibt dann einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Betriebsparameter und der Druckdifferenz an.

[0066] Prinzipiell eignen sich alle Betriebsparameter für die Pumpgrenzkontrolle. Es hat sich aber als vorteilhaft erwiesen, wenn der Betriebsparameter in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Drehmoment steht, mit welchem die Multiphasenpumpe 1 angetrieben wird. Besonders bevorzugt wird als Betriebsparameter das Drehmoment verwendet, mit welchem die Multiphasenpumpe 1 angetrieben wird.

[0067] Das Drehmoment ist ein Betriebsparameter, der während des Betriebs ständig zur Verfügung steht und somit eine sehr hohe Aktualisierungsrate ermöglicht. Der aktuelle Wert des von der Multiphasenpumpe 1 aufgenommenen Drehmoments kann zu jedem Zeitpunkt von dem variablen Frequenzantrieb 2 zur Verfügung gestellt werden.

[0068] Die Druckdifferenz DP ist in sehr einfacher und zuverlässiger Weise mittels der beiden Drucksensoren 11, 12 messbar, welche die von ihnen gemessenen

Druckwerte über die Signalverbindungen B bzw. C an die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 übermitteln, die daraus den aktuellen Wert der Druckdifferenz DP bestimmt.

[0069] Zur Bestimmung einer Grenzkurve 60' (siehe Fig. 3) bzw. einer unteren Pumpgrenzlinie 50' für das von der Multiphasenpumpe 1 aufgenommene Drehmoment werden vorzugsweise experimentelle Daten herangezogen, die beispielsweise vor Inbetriebnahme der Multiphasenpumpe 1 auf einem Teststand ermittelt werden.

[0070] Fig. 3 zeigt eine Darstellung der Grenzkurve 60' und der unteren Pumpgrenzlinie 50' in einem Auftrag des Drehmoments gegen die Druckdifferenz. Auf der horizontalen Achse ist die Druckdifferenz DP dargestellt und auf der vertikalen Achse das von der Multiphasenpumpe aufgenommene Drehmoment T. Die mit 105 bezeichneten Rauten stellen experimentell ermittelte Testdaten dar, bei denen die Multiphasenpumpe in einem instabilen Betriebszustand läuft. Zur Ermittlung dieser Testdaten 105 wird die Multiphasenpumpe 1 auf einem Teststand bewusst in einen instabilen Betriebszustand gebracht, beispielsweise durch Variieren des Durchflusses und/oder durch Variieren der Phasenverteilung des Fluids. Letzteres ist in einem Teststand natürlich möglich. Dabei wird jeweils bestimmt, bei welchen Werten des Drehmoments T und bei welchen Werten der Druckdifferenz DP die Multiphasenpumpe 1 in einen instabilen Betriebszustand gelangt. Diese instabilen Betriebszustände lassen sich sehr einfach detektieren, beispielsweise durch das Auftreten starker Vibrationen, durch ein plötzliches Absinken des Förderdrucks am Auslass 20 der Multiphasenpumpe 1 oder durch andere Änderungen. Auf diese Weise lassen sich die Testdaten 105 ermitteln.

[0071] Anschliessend wird dann die untere Pumpgrenzlinie 50' so festgelegt, dass - gemäss der Darstellung in Fig. 3 - alle Testdaten 105 gerade unterhalb der unteren Pumpgrenzlinie 50' liegen. Die in Fig. 3 gestrichelt dargestellte Grenzkurve 60' wird dann mit einem Sicherheitsabstand oberhalb und vorzugsweise parallel verlaufend zur unteren Pumpgrenzlinie 50' festgelegt. Einen für den Anwendungsfall geeigneten Abstand zwischen der unteren Pumpgrenzlinie 50' und der Grenzkurve 60' zu wählen, stellt für den Fachmann kein Problem dar. Für den Betrieb der Multiphasenpumpe 1 ist es nun sicher, dass die Multiphasenpumpe 1 nicht in einen instabilen Betriebszustand gerät, solange sie Darstellungsgemäss (Fig. 3) oberhalb der Grenzkurve 60' betrieben wird.

[0072] Alternativ oder ergänzend ist es auch möglich, zur Bestimmung der Grenzkurve 60' Erfahrungswerte heranzuziehen, die beispielsweise mittels anderer Pumpen bereits ermittelt wurden oder auf andere Weise bekannt sind. Auch können berechnete Betriebsdaten oder durch Simulationen gewonnene Daten alternativ oder ergänzend zur Bestimmung der unteren Pumpgrenzlinie 50' bzw. der Grenzkurve 60' herangezogen werden.

[0073] Für den normalen Betrieb wird nun die Grenzkurve 60' in der Pumpgrenzkontrolleinheit 4 vorgehalten.

Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem die Grenzkurve 60' als Look-up-Tafel oder als analytische parametrisierte Funktion in der Pumpgrenzkontrolleinheit 4 gespeichert wird. Ist der ermittelte Zusammenhang zwischen dem Betriebsparameter, hier dem Drehmoment T, und der Druckdifferenz DP besonders einfach, beispielsweise linear, so kann eine entsprechende Funktion, also beispielsweise eine Geradengleichung, in der Pumpgrenzkontrolleinheit 4 gespeichert werden. Während des Betriebs der Mehrphasenpumpe 1 ermittelt die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 mittels der Signale der Drucksensoren 11, 12 den jeweils aktuellen Wert der Druckdifferenz DP, die gerade von der Multiphasenpumpe 1 generiert wird. Mit dem von dem variablen Frequenzantrieb 2 bereitgestellten aktuellen Wert für das Drehmoment T kann die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 nun durch einen Vergleich mit der Grenzkurve 60' ermitteln, ob der aktuelle Wert des Drehmoments T noch von der Grenzkurve 60' entfernt ist. Sobald der aktuelle Wert des Drehmoments T für die aktuelle Druckdifferenz DP die Grenzkurve 60' erreicht, steuert die Pumpgrenzkontrolleinheit 4 das Kontrollventil 9 in der Rückführleitung 8 an, dass dadurch die Rückführleitung 8 öffnet oder weiter öffnet. Die Rückführleitung 8 wird so lange weiter geöffnet, bis sich das Drehmoment T wieder von der Grenzkurve 60' und der unteren Pumpgrenzlinie 50' entfernt.

[0074] Hierdurch ist sichergestellt, dass die Multiphasenpumpe 1 während des normalen Betriebs nicht in einen instabilen Betriebszustand gerät. Besonders vorteilhaft sind hierbei die sehr hohen Aktualisierungsraten, mit denen die Druckdifferenz DP und der aktuelle Wert des Betriebsparameters, hier des Drehmoments T bestimmt werden können.

[0075] Es hat sich gezeigt, dass die Festlegung der Grenzkurve anhand einer Korrelation des Drehmoments T, das von der Multiphasenpumpe 1 aufgenommen wird, mit der von der Multiphasenpumpe 1 generierten Druckdifferenz DP zu einer eindeutigen Beziehung für die jeweilige hydraulische Konfiguration führt, die ansonsten unabhängig von den aktuellen Betriebsbedingungen dieser Multiphasenpumpe 1, wie beispielsweise der aktuellen Phasenverteilung in dem Multiphasenfluid, ist.

[0076] Auch wenn die Erfindung anhand des Ausführungsbeispiels einer Multiphasenpumpe 1 beschrieben ist, so versteht es sich dass die Erfindung nicht auf Multiphasenpumpen beschränkt ist, sondern in sinngemäss gleicher Weise auch Einphasenpumpen und Pumpen im allgemeinen umfasst. Dabei kann die Pumpe jeweils als einstufige oder mehrstufige Pumpe ausgestaltet sein. Vorzugsweise ist die Pumpe als eine Zentrifugalpumpe oder als eine helicoaxiale Pumpe ausgestaltet.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Pumpe, insbesondere für eine Multiphasenpumpe, zum Fördern eines Fluids von einer Niederdruckseite auf eine Hochdruckseite,

wobei eine Rückführleitung (8) zum Rückführen des Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite vorgesehen ist, bei welchem Verfahren mittels einer Pumpgrenzkontrolleinheit (4) zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands ein Kontrollventil (9) in der Rückführleitung (8) angesteuert wird, welches den Durchfluss durch die Rückführleitung (8) kontrolliert, wobei eine Grenzkurve (60, 60') für einen Kontrollparameter in der Pumpgrenzkontrolleinheit (4) vorgehalten wird, ein aktueller Wert des Kontrollparameters während des Betriebs der Pumpe mit der Grenzkurve (60, 60') verglichen wird und wobei, sobald der aktuelle Wert des Kontrollparameters die Grenzkurve (60, 60') erreicht, das Kontrollventil (9) in der Rückführleitung (8) derart angesteuert wird, dass sich der aktuelle Wert des Kontrollparameters von der Grenzkurve (60, 60') entfernt, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kontrollparameter ein Betriebsparameter der Pumpe (1) verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem die Grenzkurve (60, 60') einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Betriebsparameter und der von der Pumpe, insbesondere der Multiphasenpumpe (1), generierten Druckdifferenz (DP) angibt.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem zum Vergleich des aktuellen Werts des Betriebsparameters mit der Grenzkurve (60, 60') die Druckdifferenz zwischen dem Druck an einem Einlass (10) und dem Druck an einem Auslass (20) der Pumpe (1) messtechnisch erfasst wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem der Betriebsparameter in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Drehmoment steht, mit welchem die Pumpe angetrieben wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem als Betriebsparameter das Drehmoment (T) verwendet wird, mit welchem die Pumpe angetrieben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei welchem die Grenzkurve (60') die Abhängigkeit des Drehmoments (T) von der Druckdifferenz (DT) angibt, bei welcher die Pumpe noch sicher in einem stabilen Betriebszustand betrieben wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Grenzkurve (60, 60') beabstandet zu einer unteren Pumpgrenzlinie (50, 50') festgelegt wird, wobei die untere Pumpgrenzlinie (50, 50') den jeweiligen Wert des Betriebsparameters angibt, bei welchem die Pumpe (1) in einen instabilen Betriebszustand übergeht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei welchem die untere

Pumpengrenzlinie (50, 50') mit Hilfe von experimentellen Testdaten (105) ermittelt wird, zu deren Bestimmung die Pumpe (1) in einen instabilen Betriebszustand geführt wird.

5

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei welchem zur Bestimmung der unteren Pumpengrenzlinie (50, 50') Erfahrungswerte verwendet werden. 5
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Pumpengrenzkontrolleinheit (4) in eine Kontrolleinrichtung (3) für die Ansteuerung der Pumpe (1) integriert wird. 10
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem der aktuelle Wert des Betriebsparameters von einem variablen Frequenzantrieb (2) für die Pumpe (1) bereitgestellt wird. 15
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Pumpe (1) als Druckerhöhungspumpe in der Öl- und Gasförderung verwendet wird, insbesondere in der unterseeischen Öl- und Gasförderung. 20
13. Pumpe, insbesondere Multiphasenpumpe, zum Fördern eines Fluids von einer Niederdruckseite auf eine Hochdruckseite, mit einem Einlass (10) und einem Auslass (20) für das Fluid, und mit einer Pumpengrenzkontrolleinheit (4) zur Vermeidung eines instabilen Betriebszustands, welche ein Ansteuersignal für ein Kontrollventil (9) in einer Rückführleitung (8) zum Rückführen des Fluids von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite bereitstellt, wobei in der Pumpengrenzkontrolleinheit (4) eine Grenzkurve (60, 60') für einen Kontrollparameter vorhanden ist, wobei die Pumpengrenzkontrolleinheit (4) einen aktuellen Wert des Kontrollparameters während des Betriebs der Pumpe mit der Grenzkurve (60, 60') vergleicht, und wobei die Pumpengrenzkontrolleinheit (4), sobald der aktuelle Wert des Kontrollparameters die Grenzkurve (60, 60') erreicht, das Ansteuersignal zur Verfügung stellt, welches das Kontrollventil (9) in der Rückführleitung (8) derart ansteuern kann, dass sich der aktuelle Wert des Kontrollparameters von der Grenzkurve (60, 60') entfernt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kontrollparameter ein Betriebsparameter der Pumpe ist. 25
30
35
40
45
14. Pumpe nach Anspruch 13, bei welchem der Betriebsparameter das Drehmoment (T) zum Antreiben der Pumpe (1) ist und die Grenzkurve (60') die Abhängigkeit des Drehmoments (T) von der Druckdifferenz (DP) zwischen dem Druck am Einlass (10) und dem Druck am Auslass (20) angibt. 50
55
15. Pumpe nach einem der Ansprüche 13 oder 14, ausgestaltet als Zentrifugalpumpe und als Druckerhöhungspumpe für die Öl- und Gasförderung, insbesondere für die unterseeischen Öl- und Gasförderung.

18

Fig.1

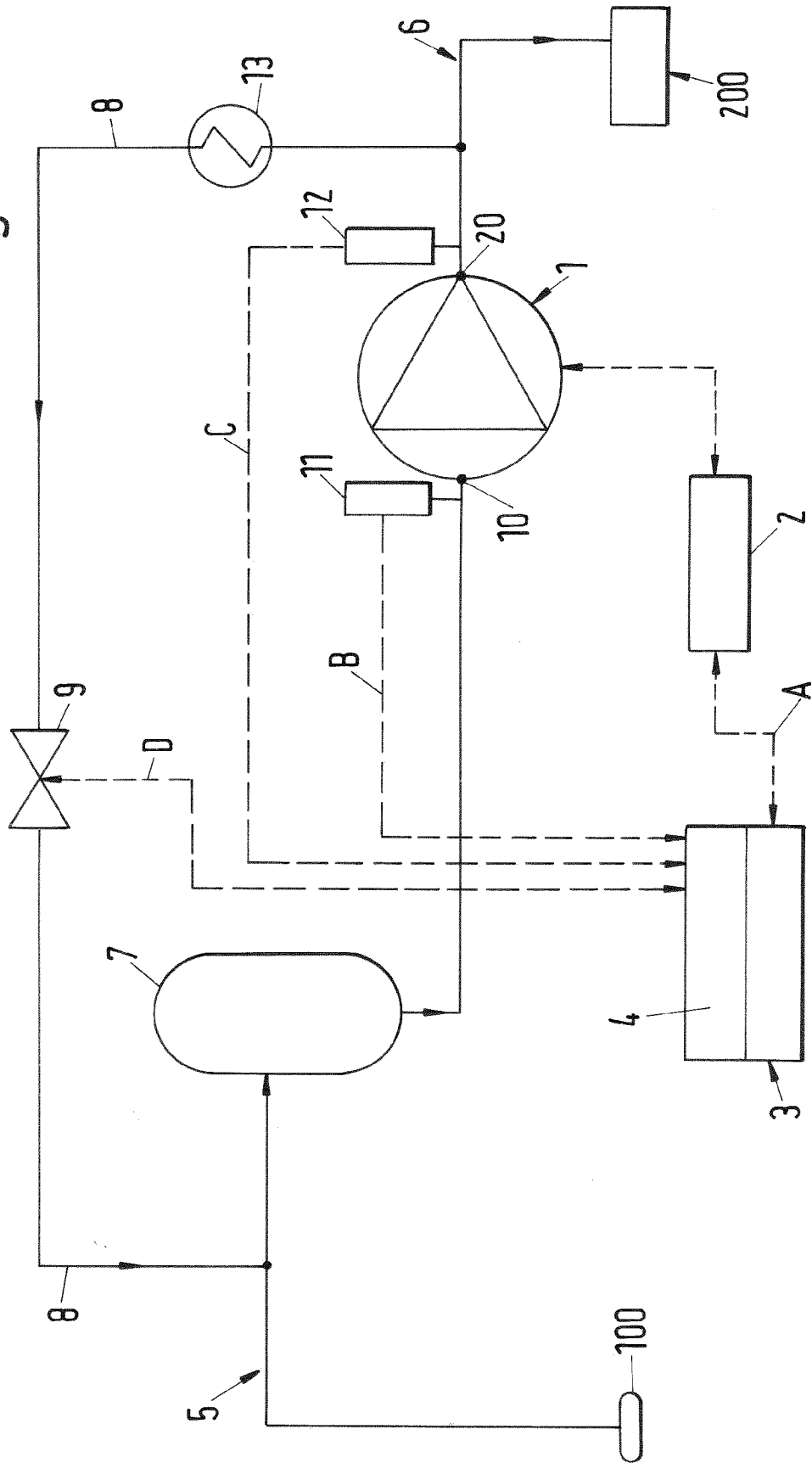


Fig.2

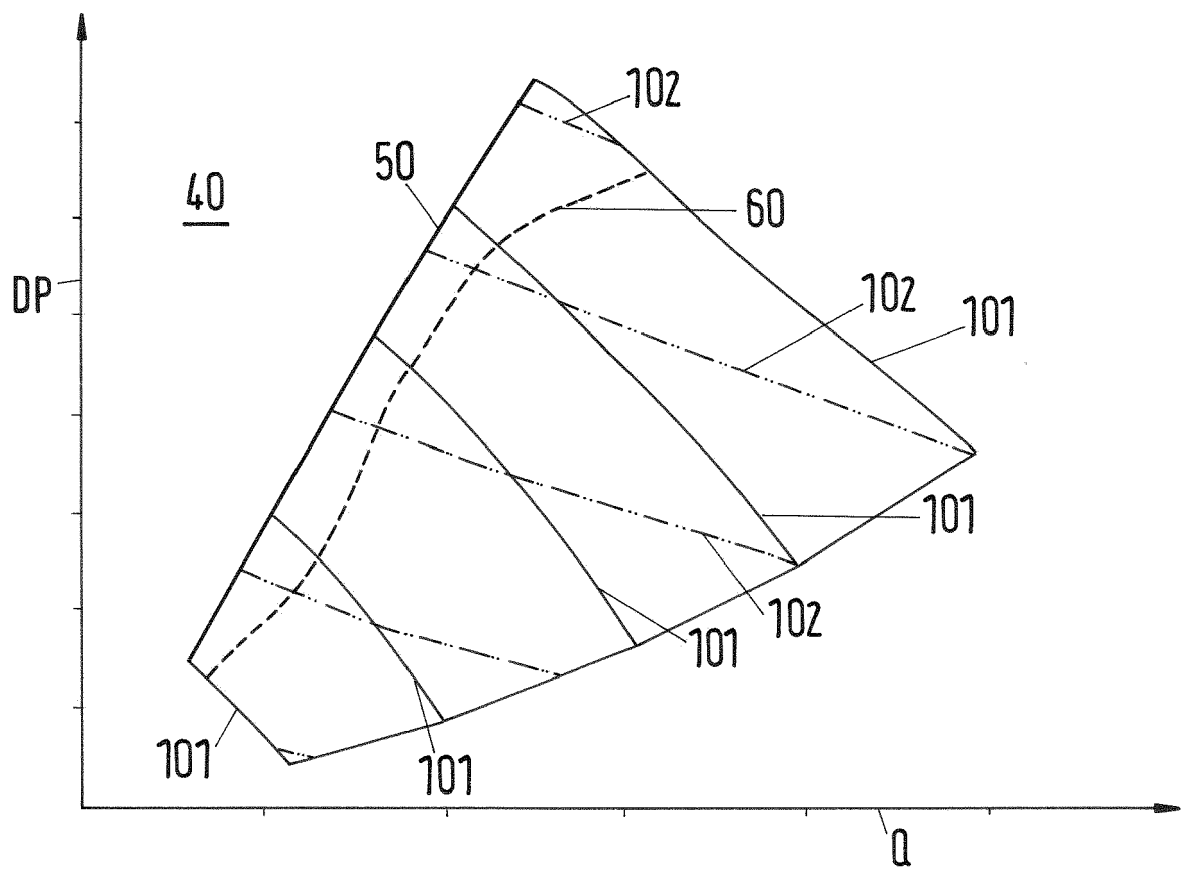
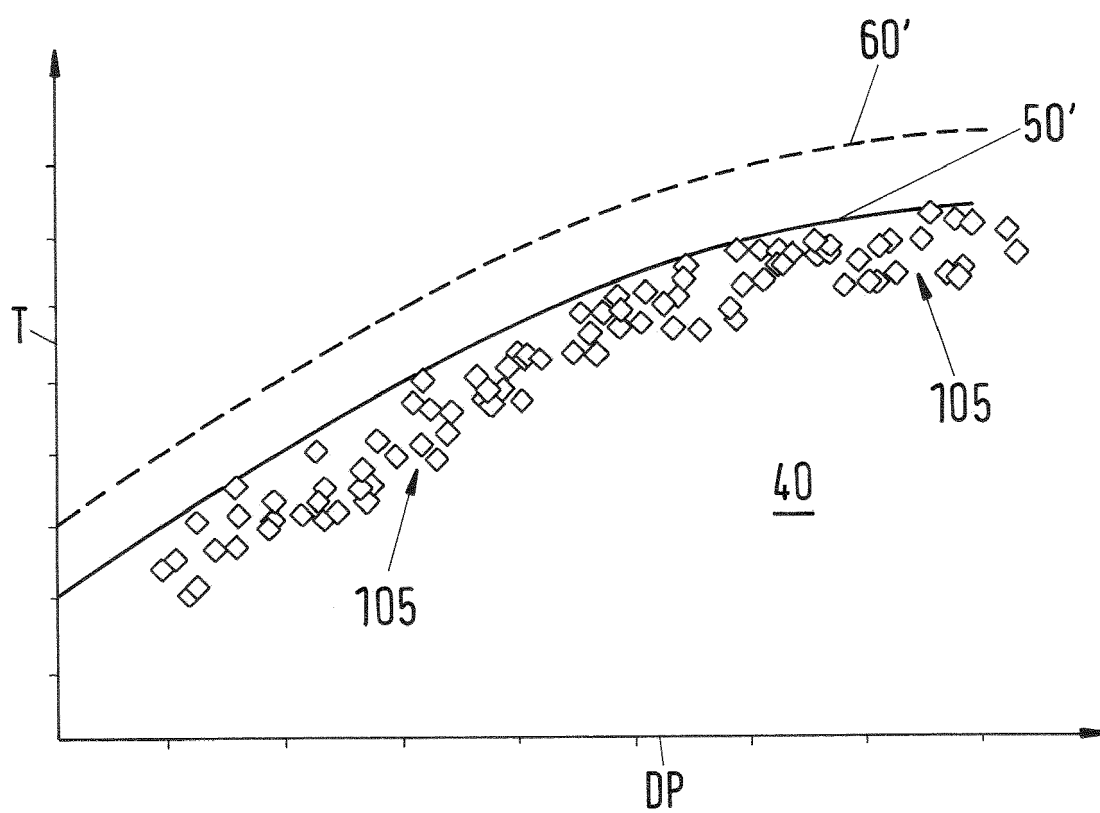


Fig.3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 18 9340

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	US 6 007 306 A (VILAGINES REGIS [FR]) 28. Dezember 1999 (1999-12-28) * Spalte 1, Zeile 11 - Zeile 21 * * Spalte 1, Zeile 57 - Zeile 65 * * Spalte 2, Zeile 6 - Zeile 19 * * Spalte 2, Zeile 50 - Spalte 3, Zeile 8 * * Spalte 4, Zeile 21 - Zeile 25 * * Spalte 4, Zeile 34 - Zeile 43 * * Ansprüche 1-4; Abbildungen 1-5 *	1-15	INV. F04D7/04 F04D13/08 F04D15/02 F04D31/00 ADD. F04D15/00
X	DE 10 2010 047298 A1 (LINDE AG [DE]) 5. April 2012 (2012-04-05) * Absätze [0001] - [0002] * * Absätze [0004] - [0011] * * Absätze [0016] - [0020] * * Ansprüche 1-5; Abbildungen 1-9 *	1-15	
X	WO 01/06128 A1 (UNITEC INST OF TECHNOLOGY [NZ]; ZAHER MOUAFAR ARIF [NZ]) 25. Januar 2001 (2001-01-25) * Seite 1, Zeile 4 - Zeile 12 * * Seite 2, Zeile 18 - Zeile 27 * * Seite 3, Zeile 6 - Zeile 22 * * Seite 4, Zeile 6 - Zeile 23 * * Seite 6, Zeile 23 - Seite 7, Zeile 11 * * Seite 10, Zeile 25 - Seite 11, Zeile 25 * * Ansprüche 1-4,13-15; Abbildungen 3,11 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) E21B F04D F04C
A	FR 2 685 737 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 2. Juli 1993 (1993-07-02) * Seite 1, Zeile 1 - Zeile 12 * * Seite 5, Zeile 16 - Seite 6, Zeile 3 * * Seite 9, Zeile 8 - Zeile 14 * * Ansprüche 1-4; Abbildungen 1,3-4 *	1-15	
----- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Mai 2016	Prüfer Nicolai, Sébastien
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 18 9340

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	GB 2 215 408 A (SHELL INT RESEARCH [NL]) 20. September 1989 (1989-09-20) * Seite 1 - Seite 2; Anspruch 1; Abbildung 1 *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Mai 2016	Prüfer Nicolai, Sébastien
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 15 18 9340

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.

17-05-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6007306 A	28-12-1999	KEINE	
DE 102010047298 A1	05-04-2012	KEINE	
WO 0106128 A1	25-01-2001	AU 771823 B2	01-04-2004
		AU 6325600 A	05-02-2001
		BR 0012614 A	09-04-2002
		EP 1198673 A1	24-04-2002
		JP 2003504563 A	04-02-2003
		NO 20020118 A	10-01-2002
		NZ 336855 A	01-03-2002
		US 7094016 B1	22-08-2006
		WO 0106128 A1	25-01-2001
FR 2685737 A1	02-07-1993	KEINE	
GB 2215408 A	20-09-1989	AU 3076889 A	31-08-1989
		BR 8900892 A	17-10-1989
		GB 2215408 A	20-09-1989
		NO 890828 A	30-08-1989
		NZ 228139 A	28-08-1990

EPO FORM P0461

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