(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 449 264 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
**07.06.2017 Patentblatt 2017/23**

(21) Anmeldenummer: **10726092.9**

(22) Anmeldetag: **24.06.2010**

(51) Int Cl.:
***F04D 7/02*** *(2006.01)* ***F04D 13/12*** *(2006.01)*
***F04D 25/16*** *(2006.01)* ***F04D 29/58*** *(2006.01)*
***E21B 43/16*** *(2006.01)* ***E21B 41/00*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
**PCT/EP2010/058967**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
**WO 2011/000761 (06.01.2011 Gazette 2011/01)**

(54) **VERFAHREN ZUR FÖRDERUNG VON FLUIDEN MIT KREISELPUMPEN**

METHOD FOR DELIVERING FLUIDS USING CENTRIFUGAL PUMPS

DISPOSITIF DE TRANSPORT DE FLUIDES PAR DES POMPES CENTRIFUGES

(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 SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **30.06.2009 DE 102009031309**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
**09.05.2012 Patentblatt 2012/19**

(73) Patentinhaber: **KSB Aktiengesellschaft**
**67227 Frankenthal (DE)**

(72) Erfinder: **SCHWARZ, Gerhard**
**67273 Dackenheim (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-99/41490**
**WO-A2-2005/052365**
**WO-A2-2008/009930**
**US-A1- 2005 155 378**

- **GOUQ-JEN SU: "Modified Law of Corresponding States for Real Gases" INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY, AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, US, Bd. 38, Nr. 8, 1. August 1946 (1946-08-01) , Seiten 803-806, XP007914075 [gefunden am 2010-07-23]**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 449 264 B1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Förderung von Fluiden mit Kreiselpumpen, wobei vor einer Kreiselpumpe Maschinen und/oder Apparate angeordnet sind, welche den Druck und/oder die Temperatur des Fluids beeinflussen. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Sequestrierung von Kohlendioxid, wobei das Kohlendioxid auf einen für eine vorgesehene Lagerstätte geeigneten Druck und/oder Temperatur gebracht wird und in die Lagerstätte gefördert wird.

**[0002]** Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Kraftwerken entsteht Kohlendioxid, das maßgeblich für den Treibhauseffekt verantwortlich ist. Ziel ist es daher, den Ausstoß von Kohlendioxid in die Atmosphäre zu reduzieren. Eine wirkungsvolle Maßnahme stellt die Sequestrierung von Kohlendioxid dar. Dabei wird das in den Kraftwerken entstandene Kohlendioxid separiert und einer Deponierung zugeführt. Als Lagerstätten gelten geologische Formationen wie Erdöllagerstätten, Erdgaslagerstätten, salzhaltige Grundwasserleiter oder Kohleflöze. Auch eine Lagerung in der Tiefsee wird untersucht.

**[0003]** Bei herkömmlichen Verfahren erfolgt die Förderung von gasförmigem Kohlendioxid mittels Kompressoren. Die Kompression erfolgt in mehreren Stufen, wobei diverse Zwischenkühlungen des komprimierten Gases notwendig sind. Sowohl die Kompression als auch die Kühlung sind sehr energieintensiv. Die Kompression erfolgt vom gasförmigen Zustand direkt in den überkritischen Zustand.

**[0004]** Vereinzelt wurde flüssiges Kohlendioxid auch mit Membranpumpen gefördert. Wird flüssiges Kohlendioxid gepumpt so muss gewährleistet werden, dass es in der Pumpe nicht zu Kavitation kommt. Das Kohlendioxid darf nur Zustände annehmen bei denen der Dampfdruck nicht erreicht oder unterschritten wird. Ansonsten kommt es zur Bildung von Dampfblasen, die bei einem Druckanstieg in der Pumpe implodieren und zu massiven Schäden führen. Die Dampfdruckkurve stellt somit eine Grenzlinie für die Förderungen von flüssigem Kohlendioxid dar.

**[0005]** Bei der Förderung von flüssigem Kohlendioxid kann es in der Pumpe zu einem unvermeidbaren Wechsel in einen überkritischen Zustand kommen. Dies liegt an dessen verhältnismäßig niedrigen kritischen Temperatur, von nur 31,0 °C, und dessen verhältnismäßig niedrigen kritischen Druck, von nur 73,8 bar. Weiterhin gibt es Verfahren, bei denen das Kohlendioxid bereits beim Eintritt in die Pumpe überkritisch vorliegt.

**[0006]** Prinzipiell ist die Förderung von überkritischem Kohlendioxid mit Kreiselpumpen bekannt. In der WO 2005/052365 A2 wird eine einstufige Spaltrohrmotorpumpe beschrieben, die das überkritische Kohlendioxid im Kreislauf fördert. Das Fluid wird mit einem Laufrad gefördert, welches auf einer Welle befestigt ist, die in korrosionsbeständigen Lagern angeordnet ist. Damit soll die Bildung von abrasiven Partikeln verhindert werden, welche den hochtourigen Spaltrohrmotor zerstören können.

**[0007]** In der WO 00/63529 wird ein Pumpensystem zur Förderung von flüssigem oder überkritischem Kohlendioxid beschrieben. Das Pumpensystem umfasst eine mehrstufige Pumpe, nach Art einer Unterwassermotorpumpe, die in einem Topfgehäuse angeordnet ist. Diese Anordnung ist auf ein geschlossenes Fördersystem angewiesen, in dem sehr hohe Pumpeneintrittsdrücke vorherrschen. Aufgrund der genannten Randbedingungen liegt das zu fördernde Kohlendioxid ausschließlich in der flüssigen Phase vor. Das System wird zur Enhanced Oil Recovery, EOR, eingesetzt, wobei Kohlendioxid in Ölfelder injiziert, um die Ausbeute an gefördertem Öl zu steigern. Das System dient auch zur Sequestrierung von Kohlendioxid.

**[0008]** Die WO 99/41490 A1 und die WO 2005/052365 A2 beschreiben ebenfalls Systeme zur Förderung überkritischen Kohlendioxids. Die US 2005/0155378 A1 beschreibt ein System zur Förderung von hochreinem Kohlendioxid.

**[0009]** Bei der Förderung von überkritischem Kohlendioxid mittels Kreiselpumpen treten häufig massive Probleme auf, da das Kohlendioxid im überkritischen Bereich immer wieder Zustände annimmt, die zu einem unstetigen Pumpverhalten und unter Umständen auch zu einer Schädigung der Kreiselpumpe führen. Bei einer Drucksteigerung in der Kreiselpumpe treten große Dichteänderungen des Fluids auf, welche dieses Verhalten verursachen.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches die Förderung von überkritischen Fluiden mit Kreiselpumpen erlaubt, mit der Sicherheit einer Vermeidung von unzulässigen Dichteänderungen des zu fördernden Fluids.

**[0011]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mittels der Maschinen und/oder Apparate der Eintrittszustand des Fluids in die Kreiselpumpe so eingestellt wird, dass das Fluid in der Kreiselpumpe nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat.

**[0012]** Der Realgasfaktor, der auch als Kompressibilitäts- oder Kompressionsfaktor bezeichnet wird, ist definiert als

$$z = \frac{p \cdot V}{n \cdot R \cdot T} = \frac{p \cdot V}{m \cdot R_i \cdot T} = \frac{p \cdot v}{R_i \cdot T}$$

**[0013]** Hierbei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

p - Druck, [p] = bar
V - Volumen, [V] = $m^3$
n - Stoffmenge, [n] = mol
T - absolute Temperatur, [T] = K

R - universelle Gaskonstante, $R = 8{,}3145 \frac{J}{mol \cdot K}$

m - Masse, [m] = kg

$R_i$ - spezifische Gaskonstante des Stoffes i, $[R] = \frac{J}{kg \cdot K}$

v - spezifisches Volumen, $[v] = \frac{m^3}{kg}$

**[0014]** Während für ideale Gase der Realgasfaktor gleich Eins ist, weicht er für reale Gase in Abhängigkeit von Druck und Temperatur ab. Dabei nimmt der Realgasfaktor, unterhalb der so genannten Boyle Temperatur, mit steigendem Druck zunächst ab, erreicht ein Minimum und steigt dann wieder an. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird gewährleistet, dass das Fluid nur Zustände in der Kreiselpumpe annimmt, bei dem der Realgasfaktor sein Minimum bereits erreicht oder überschritten hat. Arbeitet die Kreiselpumpe in diesem erlauben Betriebsbereichen, so werden ein unstetiges Pumpverhalten und eine Schädigung der Kreiselpumpe, bei der Förderung von überkritischen Fluiden, mit Sicherheit ausgeschlossen.

**[0015]** Im flüssigen Bereich ist seit langem eine Grenzlinie für den Betrieb von Kreiselpumpen bekannt, die bei der Förderung nicht erreicht oder unterschritten werden darf. Bei Flüssigkeiten stellt die Dampfdruckkurve diese Grenzlinie dar. Wird sie unterschritten, so kommt es zu Kavitation. Dagegen gibt es für den überkritischen Bereich keine Grenzlinie analog zur Dampfdruckkurve, da diese am kritischen Punkt endet.

**[0016]** Erfindungsgemäß wird erstmals für den überkritischen Bereich eine Grenzlinie für den Betrieb von Kreiselpumpen definiert, die bei der Förderung nicht unterschritten werden darf. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Sicherheit einer Vermeidung von unzulässigen Dichteänderungen des zu fördernden Fluids im überkritischen Bereich gewährleistet.

**[0017]** Während des Pumpvorgangs kommt es in der Kreiselpumpe zu Druckerhöhungen und Temperatursteigerungen. Die Zustände, welche ein Fluid in der Kreiselpumpe annimmt, sind von der Fördersituation und dem Typ der eingesetzten Kreiselpumpe abhängig. Diese sind dem Betreiber in der Regel bekannt. Die bei dem Verfahren eingesetzten Maschinen und Apparate konfigurieren den Eintrittszustand des Fluids so, dass dessen Realgasfaktor zumindest am Eintritt in die Kreiselpumpe bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat.

**[0018]** Das Fluid kann bei dem Verfahren bereits am Eintritt in die Kreiselpumpe in einem überkritischen Zustand vorliegen. Ebenso ist es möglich, dass das Fluid beim Eintritt in die Kreiselpumpe zunächst flüssig vorliegt und erst in der Kreiselpumpe einen überkritischen Zustand annimmt. Auch in diesem Fall, ist die erfindungsgemäße Grenzlinie einzuhalten.

**[0019]** Vorzugsweise wird mit Kompressoren und Wärmetauschern der Eintrittzustand des Fluids eingestellt. Dabei erweist es sich als günstig, wenn das Fluid mindestens eine Kompressions- und eine Kühlungsstufe durchläuft. Über die Anzahl der Kompressions-und Kühlungsstufen wird der Eintrittszustand des Fluids in die Kreiselpumpe eingestellt.

**[0020]** Als Eintrittszustand gilt in der Regel der Zustand des Fluids am Eintritt in den Saugstutzen der Kreiselpumpe. Spätestens jedoch bei Eintritt des Fluids in das Laufrad muss ein erfindungsgemäßer Eintrittszustand erreicht sein.

**[0021]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Eintrittstemperatur und/oder der Eintrittsdruck des Fluids gemessen und an eine Steuer- und/oder Regeleinheit weitergeleitet. Als Steuer- und/oder Regeleinheit können handelsübliche Steuerungen oder Regler eingesetzt werden. Denkbar ist auch der Einsatz eines Prozessleitsystems. Über die Steuer- und/oder Regeleinheit können die Maschinen und Apparate gezielt beeinflusst werden, um den Einstrittszustand des Fluids einzustellen. Dazu sendet die Steuer- und/oder Regeleinheit Signale an die Maschinen und Apparate. Über die Signale werden die Antriebsmotoren bzw. die Stellantriebe der Maschinen und Apparate beeinflusst. Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung löst die Steuer- und/oder Regeleinheit einen Alarm aus, wenn der Realgasfaktor des Fluids am Eintritt in die Pumpe sein Minimum noch nicht erreicht hat. Ergänzend oder alternativ kann in diesem Fall auch die Anlage in eine Sicherheitsstellung gebracht werden. Dabei kann es auch zu einer Abschaltung der Kreiselpumpe kommen.

**[0022]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung anhand von Figuren. Dabei zeigt

Fig. 1: Ein Fließbild des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2: Ein Diagramm, bei dem der Realgasfaktor von Kohlendioxid in Abhängigkeit des Drucks dargestellt ist,

Fig. 3: Ein Diagramm, bei dem das Produkt p·v für Kohlendioxid als Funktion des Drucks dargestellt ist.

Fig. 4a: Das Phasendiagramm von Kohlendioxid, wobei im überkritischen Bereich die erfindungsgemäße Grenzlinie für den Betrieb von Kreiselpumpen eingezeichnet ist und die Betriebskurve der Kreiselpumpe vollständig im erlaubten Bereich verläuft.

Fig. 4b: Das Phasendiagramm von Kohlendioxid, wobei im überkritischen Bereich die erfindungsgemäße Grenzlinie für den Betrieb von Kreiselpumpen eingezeichnet ist und die Betriebskurve der Kreiselpumpe zunächst vollständig im verbotenen Bereich verläuft,

Fig. 4c: Das Phasendiagramm von Kohlendioxid, wobei im überkritischen Bereich die erfindungsgemäße Grenzlinie für den Betrieb von Kreiselpumpen eingezeichnet ist und der Eintrittpunkt in erlaubten Bereich liegt, der Austrittpunkt jedoch zunächst im verbotenen Bereich liegt.

**[0023]** In Fig. 1 ist ein Fließbild des erfindungsgemäßen Verfahrens als eine schematische Darstellung gezeigt. Das Fluid, hier Kohlendioxid, tritt zunächst in einen Verdichter 1 ein. Der Verdichter 1 wird mit einem Motor 2 angetrieben. Diese schematische Darstellung gilt für ein- oder mehrstufige Verdichterbauformen. In Abhängigkeit vom Eintrittszustand des Fluids und des Kühlmittels in dem dargestellten Prozess variiert die Anzahl der Verdichter- und Wärmetauscherstufen. Aus Übersichtlichkeitsgründen werden hier nur 2 Prozessstufen dargestellt; gewöhnlich sind es jedoch mehrere.

**[0024]** Im Verdichter 1 wird das Fluid auf einen höheren Druck gebracht, wobei die Temperatur des Fluids ansteigt. Nach dem Verdichter 1 tritt das Fluid in einen Wärmetauscher 3 ein. Der von Kühlmittel durchströmte Wärmetauscher 3 nimmt, Wärme vom Fluidstrom auf und senkt damit dessen Temperatur. Die Kühlmittelmenge wird mit einem Ventil 4 eingestellt. Als Stellantrieb wird das Ventil 4 mit einem Motor 5 betrieben.

**[0025]** Nach dem Wärmetauscher 3 kann das Kohlendioxid in einen weiteren Verdichter 6 oder in eine weitere Verdichterstufe eintreten, der hier mit einem Motor 7 betrieben wird. Im weiteren Verdichter 6 erfährt das Fluid eine erneute Druck- und Temperatursteigerung, bevor es in einen weiteren Wärmetauscher 8, der auch als ein Zwischenkühler ausgebildet sein kann, eintritt. Im Wärmetauscher 8 wird der Kohlendioxidstrom erneut gekühlt. Die geschieht ebenfalls mit einem Kühlmittelstrom, der über ein Ventil 9, das über einen Motor 10 als Stellantrieb verfügt, reguliert wird.

**[0026]** Erfindungsgemäß wird über die Maschinen 1, 6 und Apparate 3, 8 der Eintrittszustand des Fluids in die Kreiselpumpe 11 so eingestellt, dass das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Dazu werden am Eintritt in die Kreiselpumpe 11 mittels üblicher Druck- und Temperaturmessstellen 13, 14 die Aggregatzustände des Fluids erfasst. Die Messstellen 13, 14 sind mit einer Regeleinheit 15 verbunden, die die Maschinen 1, 6 und Apparate 3, 8 regelt. Die Regeleinheit 15 gewährleistet, dass vor der Kreiselpumpe 11 diejenigen Aggregatzustände eingestellt werden, aufgrund derer die Kreiselpumpe schadlos betrieben werden kann. Auch der Motor 12 der Kreiselpumpe 11 kann von der Regeleinheit 15 beeinflusst werden, wenn er entsprechend ausgebildet ist. Vorteilhaft für den Prozess ist die Verwendung drehzahlregelbarer Motoren. Dies ist abhängig von den jeweils gegebenen Randbedingungen des Verfahrens oder dessen Anlage.

**[0027]** Die Druckmessstelle 13, gekennzeichnet durch die Abkürzung PI, misst den Druck des Kohlendioxids. Besteht die Gefahr, dass das Kohlendioxid innerhalb von der Kreiselpumpe 11 Zustände im verbotenen Bereich annimmt, bei denen der Realgasfaktor noch nicht sein Minimum erreicht hat, so werden deren Signale über die Regelstelle 15 an die Motoren 2, 7 der Verdichter 1, 6 weitergeleitet, über die der Druck des Kohlendioxids einstellbar ist.

**[0028]** Die Temperaturmessstelle 14, gekennzeichnet durch die Abkürzung TI, misst die Temperatur des Kohlendioxids. Besteht die Gefahr, dass das Kohlendioxid innerhalb von der Kreiselpumpe 11 Zustände im verbotenen Bereich annimmt, bei denen der Realgasfaktor noch nicht sein Minimum erreicht hat, so werden deren Signale über die Regeleinheit 15 an die Motoren 5, 10 der Ventile 4, 9 weitergeleitet, über die die Temperatur des Kohlendioxids mittels des Kühlmittelstroms, der durch die Wärmetauscher 3, 8 fließt, einstellbar ist. Eventuelle weitere Sensoren, die die Maschinen 1, 6 und Apparate 3, 8 überwachen, sind aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt und wären ebenfalls mit der Regeleinheit 15 zur Verfahrensbeeinflussung verbunden.

**[0029]** Das Kohlendioxid verlässt die Kreiselpumpe 11 in einem für den Folgeprozess erforderlichen Zustand. Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren, bei dem lediglich Verdichter zur Förderung von Kohlendioxid zum Einsatz kommen, können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hohe Druckdifferenzen in der Kreiselpumpe ohne zusätzliche

Zwischenkühlung realisiert werden.

**[0030]** In Fig. 2 ist ein Diagramm dargestellt, bei dem für ein zu förderndes Fluid Kohlendioxid dessen Realgasfaktor z als Funktion des Drucks p aufgetragen ist. Erfindungsgemäß wird der Eintrittszustand des Fluids mittels der Maschinen 1, 6 und/oder Apparate 3, 8 so eingestellt, dass das Fluid beim Durchströmen der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Bei einer Erhöhung des Druckes in der Kreiselpumpe bleibt der Realgasfaktor des Fluids gleich oder nimmt zu. In Fig. 2 ist eine Betriebskurve 16 für eine Kreiselpumpe 11 dargestellt, bei der sowohl der Eintrittszustand E, als auch der Austrittszustand A des Fluids im erlaubten Bereich liegen. Das Fluid liegt am Eingang in die Kreiselpumpe 11 in einem Zustand vor, bei dem der Realgasfaktor z sein Minimum bereits überschritten hat. In der Pumpe 11 ändern sich der Druck p und die Temperatur T des Fluids. Das Fluid tritt hier bei einem Druck von 95 bar in die Pumpe 11 ein und verlässt die Pumpe 11 bei einem Druck von 300 bar. Die Eintrittstemperatur des Fluids beträgt ca. 35°C und die Austrittstemperatur des Fluid beträgt ca. 70°C. Erfindungsgemäß wurde der Eintrittszustand des Fluids durch die Maschinen 1, 6 und/oder die Apparate 3, 8 so eingestellt, dass das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor z bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat.

**[0031]** Durch eine Verbindung der Minima einzelner, gestrichelt dargestellter Isothermen des Fluids in dem Diagramm von Fig. 2 ist eine fette durchgezogene Grenzkurve 17 für pumpbare Fluide im überkritischen Bereich definiert. Dieser überkritische Bereich befindet sich rechts vom überkritischen Punkt kP des Fluids. Erfindungsgemäß wird dadurch für den überkritischen Bereich die Grenzkurve 17 für den Betrieb von Kreiselpumpen definiert. Das Kohlendioxid darf in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annehmen, die auf dieser Grenzkurve 17 oder rechts davon liegen. In diesem Bereich hat der Realgasfaktor des Kohlendioxids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten. Die Betriebskurve 16 der Kreiselpumpe 11 liegt vollständig im erlaubten Bereich.

**[0032]** Fig. 3 zeigt ein Diagramm, bei dem das Produkt p·v als Funktion des Drucks p für Kohlendioxid aufgetragen ist. Das Produkt p·v kann analog zum Realgasfaktor z betrachtet werden. Während für ideales Gasverhalten die Isothermen waagerecht verlaufen, zeigen reale Gase ein Verhalten, das in Fig. 3 mit gestrichelten Isothermen dargestellt ist. Zunächst wird das Produkt p·v auf einer Isotherme mit steigendem Druck kleiner bis ein Minimum erreicht wird. Nach Durchlaufen des jeweiligen Minimums, wird das Produkt p·v mit steigendem Druck wieder größer. Das Produkt p·v nimmt dabei annähernd linear zu. Erfindungsgemäß wird der Eintrittszustand des Fluids mit Hilfe von Maschinen 1, 6 und/oder Apparaten 3, 8 so eingestellt, dass das Produkt p·v des Fluids in der Kreiselpumpe 11 bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. In Fig. 3 ist eine Betriebskurve 16 für eine Kreiselpumpe 11 dargestellt, bei der sowohl der Eintrittszustand E, als auch der Austrittszustand A des Fluids im erlaubten Bereich liegen. Das Fluid hat am Eingang in die Pumpe 11 einen Zustand bei dem der Realgasfaktor z sein Minimum bereits überschritten hat. In der Pumpe ändern sich der Druck p und die Temperatur T des Fluids. Das Fluid tritt bei einem Druck von 95 bar in die Pumpe ein und verlässt die Pumpe bei einem Druck von 300 bar. Die Eintrittstemperatur des Fluids beträgt ca. 35°C. Die Austrittstemperatur des Fluid beträgt 70°C. Erfindungsgemäß wurde der Eintrittszustand des Fluids durch Maschinen 1, 6 und/oder Apparate 3, 8 so eingestellt, dass das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor z des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Die Betriebskurve 16 liegt vollständig im erlaubten Bereich. Analog zur Fig. 2 ist auch hier die Pumpgrenze als eine fette durchgezogene Grenzkurve 17 dargestellt.

**[0033]** Die Figuren 4a, 4b und 4c zeigen das Phasendiagramm von Kohlendioxid, das häufig auch als Zustandsdiagramm oder p-T-Diagramm bezeichnet wird. Neben den üblichen Aggregatzuständen, gasförmig gf und flüssig fl, ist auch der überkritische Zustand ük eingezeichnet. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass Kohlendioxid bei einem Normdruck von 1,013 bar nicht flüssig vorliegen kann, sondern lediglich eine Sublimation bei -78,5°C beobachtet wird. Erst bei höheren Drücken kann Kohlendioxid flüssig vorliegen. Für die Förderung von flüssigem Kohlendioxid stellt die Dampfdruckkurve 18 eine Grenzlinie für die Betriebszustände dar, die das Fluid in der Kreiselpumpe annehmen darf. Das flüssige Kohlendioxid darf in der Kreiselpumpe keine Zustände annehmen, bei denen die Dampfdruckkurve 18 erreicht oder überschritten wird, da es ansonsten zu Kavitation in der Kreiselpumpe kommt. Die Dampfdruckkurve 18 ist eingegrenzt vom Tripelpunkt TP und dem kritischen Punkt kP.

**[0034]** Bei der Darstellung in Fig. 4a liegt der Eintrittszustand E des zu fördernden Fluids im erlaubten Bereich. Das Fluid hat am Eingang in die Kreiselpumpe 11 einen Zustand bei dem der Realgasfaktor z sein Minimum bereits überschritten hat. Innerhalb der Kreiselpumpe ändern sich der Druck und die Temperatur des Fluids. Das Fluid tritt bei einem Druck von 95 bar in die Pumpe ein und verlässt die Pumpe bei einem Druck von 220 bar. Die Eintrittstemperatur des Fluids beträgt 35°C. Die Austrittstemperatur des Fluid beträgt 59°C. Erfindungsgemäß wurde der Eintrittszustand des Fluids durch Maschinen 1, 6 und/oder Apparate 3, 8 so eingestellt, dass das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Die Betriebskurve 16 liegt vollständig in dem durch die Grenzkurve 17 aufgeteilten, erlaubten überkritischen Bereich. In dieser Darstellung der Fig. 4a befindet sich links von der Grenzkurve 17 der zulässige Pumpenbereich.

**[0035]** Im Beispiel der Darstellung von Fig. 4b liegen weder der Eintrittszustand E noch der Austrittszustand A im erlaubten Bereich. Die gesamte Betriebskurve 16 liegt rechts von der Grenzkurve 17 und damit im verbotenen überkritischen Bereich, da der Realgasfaktor z des zu fördernden Fluids sein Minimum noch nicht erreicht hat. Erfindungsgemäß

wird nun der Eintrittzustand des Fluids mittels der Maschinen 1, 6 und Apparate 3, 8 so variiert, dass die gesamte Betriebskurve 16' im erlaubten Bereich liegt, d.h. dass das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Dadurch verschiebt sich die gesamte Betriebskurve 16 und läuft nun als zulässige Betriebskurve 16' vollständig im erlaubten Bereich. Der Eintrittszustand wurde durch die Maschinen 1, 6 und/oder Apparate 3, 8 so variiert, dass das Fluid bei einer niedrigeren Eintritttemperatur T in die Kreiselpumpe 11 eintritt. Dadurch verschiebt sich die gesamte Betriebskurve von 16 zu 16, so dass nun erfindungsgemäß das Fluid in der Kreiselpumpe 11 nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor z bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Alternativ dazu kann auch ein höherer Eintrittdruck p eingestellt werden. Sämtliche Zustände liegen nach dieser Variation des Eintrittszustandes im erlaubten Bereich.

**[0036]** Bei der Darstellung in Fig. 4c liegt zwar der Eintrittszustand E des Fluids im erlaubten überkritischen Bereich, der Austrittszustand A liegt jedoch im verbotenen Bereich. Dabei liegt das Fluid zunächst am Eingang in die Pumpe in einem Zustand vor, bei dem der Realgasfaktor z sein Minimum bereits überschritten hat. Innerhalb der Pumpe ändern sich der Druck und die Temperatur des Fluids.

Das Fluid tritt bei einem Druck von 95 bar in die Pumpe ein und verlässt die Pumpe bei einem Druck von 220 bar. Die Eintrittstemperatur des Fluids beträgt 35 °C. Die Austrittstemperatur des Fluid beträgt 130 °C. Die Betriebszustände des Fluids nehmen ab dem Schnittpunkt V der Betriebskurve 16 mit der fett und durchgezogen gezeichneten Grenzkurve 17 Werte an, bei denen der Realgasfaktor des Fluids sein Minimum noch nicht erreicht oder überschritten hat. Ab diesem Schnittpunkt Punkt V verläuft die Betriebskurve im verbotenen Bereich. Erfindungsgemäß wird nun der Eintrittzustand des Fluids mittels der Maschinen 1, 6 und Apparate 3, 8 so variiert, dass die gesamte Betriebskurve 16 im erlaubten Bereich liegt, d.h. dass das Fluid in der Kreiselpumpe nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat. Der Eintrittspunkt E der Kurve 16 wird weiter nach rechts verschoben, so dass das Fluid bei einer niedrigeren Eintritttemperatur am Eintrittspunkt E' in die Kreiselpumpe 11 eintritt. Dadurch verschiebt sich die gesamte, hier unzulässige Betriebskurve 16 als neue und zulässige Betriebskurve 16' in den erlaubten überkritischen Bereich. Alternativ dazu kann auch ein höherer Eintrittdruck p eingestellt werden. Erfindungsgemäß nimmt nun das Fluid in der Kreiselpumpe nur Zustände an, bei denen der Realgasfaktor bereits sein Minimum erreicht oder überschritten. Sämtliche Zustände liegen nach dieser Variation des Eintrittszustandes im erlaubten Bereich.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Förderung von Fluiden mit Kreiselpumpen (11), wobei vor einer Kreiselpumpe (11) Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) angeordnet sind, welche den Druck und/oder die Temperatur des Fluids beeinflussen, **dadurch gekennzeichnet, dass**
   die Eintrittstemperatur (T) und/oder der Eintrittsdruck (p) des Fluids gemessen und an eine Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) weitergeleitet werden, wobei die Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) Signale an die Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) weiterleitet über die der Einstrittszustand des Fluids einstellbar ist, wobei mittels der Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) der Eintrittszustand des Fluids in die Kreiselpumpe (11) so eingestellt wird, dass das Fluid in der Kreiselpumpe (11) nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor (z) des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluid am Eintritt in die Kreiselpumpe (11) und/oder in der Kreiselpumpe (11) in einem überkritischen Zustand vorliegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Erhöhung des Druckes in der Kreiselpumpe (11) der Realgasfaktor (z) des Fluids gleich bleibt oder zunimmt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) das Verfahren in einen Sicherheitszustand bringt, wenn der Realgasfaktor (z) des Fluids am Eintritt in die Kreiselpumpe (11) sein Minimum noch nicht erreicht hat.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit als Kompressoren ausgebildete Maschinen (1, 6) und/oder als Wärmetauschern ausgebildeten Apparaten (3, 8) der Eintrittzustand des Fluids einstellbar ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zu fördernde Fluid zumindest eine Kompressions- und/oder eine Kühlungsstufe durchläuft.

7. Verfahren zur Sequestrierung von Kohlendioxid, wobei das Kohlendioxid auf einen für eine vorgesehene Lagerstätte

geeigneten Druck und/oder Temperatur gebracht wird und in die Lagerstätte gefördert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kreiselpumpe (11) das Kohlendioxid entsprechend dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 in die Lagerstätte pumpt, wobei vor der Kreiselpumpe Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) angeordnet sind, welche den Druck und/oder die Temperatur des Kohlendioxids beeinflussen, wobei mittels der Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) der Eintrittszustand so eingestellt wird, dass das Fluid in der Kreiselpumpe (11) nur Zustände annimmt, bei denen der Realgasfaktor (z) des Fluids bereits sein Minimum erreicht oder überschritten hat.

**8.** Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluid am Eintritt in die Kreiselpumpe (11) und/oder in der Kreiselpumpe (11) in einem überkritischen Zustand vorliegt.

**9.** Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Erhöhung des Druckes in der Kreiselpumpe (11) der Realgasfaktor (z) des Fluids gleich bleibt oder zunimmt.

**10.** Verfahren nach einem der Ansprüchen 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eintrittstemperatur (T) und/oder der Eintrittsdruck (p) des Fluids gemessen und an eine Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) weitergeleitet werden.

**11.** Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) Signale an die Maschinen (1, 6) und/oder Apparate (3, 8) weiterleitet über die der Einstrittszustand des Fluids einstellbar ist.

**12.** Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) einen Alarm auslöst, wenn der Realgasfaktor (z) des Fluids am Eintritt in die Kreiselpumpe (11) sein Minimum noch nicht erreicht hat.

**13.** Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuer- und/oder Regeleinheit (13, 14) die Anlage abschaltet, wenn der Realgasfaktor (z) des Fluids am Eintritt in die Kreiselpumpe (11) sein Minimum noch nicht erreicht hat.

**14.** nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit als Kompressoren ausgebildeten Maschinen (1, 6) und/oder als Wärmetauschern ausgebildete Apparaten (6, 8) der Eintrittzustand des Fluids eingestellt wird.

**15.** Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zu fördernde Fluid zumindest eine Kompressions- (1, 6) und/oder eine Kühlungsstufe (3, 8) durchläuft.

## Claims

**1.** Method for the conveyance of fluids by means of centrifugal pumps (11), machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) which influence the pressure and/or temperature of the fluid being arranged upstream of a centrifugal pump (11), **characterized in that**
the inlet temperature (T) and/or the inlet pressure (p) of the fluid are/is measured and transferred to a control and/or regulating unit (13, 14), wherein the control and/or regulating unit (13, 14) transfers to the machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) signals, via which the state of entry of the fluid can be set, wherein the state of entry of the fluid into the centrifugal pump (11) is set by means of the machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) such that the fluid in the centrifugal pump (11) assumes only states in which the real gas factor (z) of the fluid has already reached or overshot its minimum.

**2.** Method according to Claim 1, **characterized in that** the fluid is in a supercritical state upon entry into the centrifugal pump (11) and/or in the centrifugal pump (11).

**3.** Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that**, in the event of a rise in pressure in the centrifugal pump (11), the real gas factor (z) of the fluid remains the same or increases.

**4.** Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the control and/or regulating unit (13, 14) brings the method into a safety state when the real gas factor (z) of the fluid upon entry into the centrifugal pump (11) has not yet reached its minimum.

**5.** Method according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the state of entry of the fluid can be set by means

of machines (1, 6) designed as compressors and/or by means of appliances (3, 8) designed as heat exchangers.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the fluid to be conveyed passes through at least one compression stage and/or one cooling stage.

7. Method for the sequestration of carbon dioxide, the carbon dioxide being brought to a pressure and/or temperature suitable for an intended deposit and being conveyed into the deposit, **characterized in that** a centrifugal pump (11) pumps the carbon dioxide in accordance with the method according to one of the Claims 1 to 6 into the deposit, machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) which influence the pressure and/or temperature of the carbon dioxide being arranged upstream of the centrifugal pump, and the state of entry being set by means of the machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) such that the fluid in the centrifugal pump (11) assumes only states in which the real gas factor (z) of the fluid has already reached or overshot its minimum.

8. Method according to Claim 7, **characterized in that** the fluid is in a supercritical state upon entry into the centrifugal pump (11) and/or in the centrifugal pump (11).

9. Method according to Claim 7 or 8, **characterized in that**, in the event of a rise in pressure in the centrifugal pump (11), the real gas factor (z) of the fluid remains the same or increases.

10. Method according to one of Claims 7 to 9, **characterized in that** the inlet temperature (T) and/or the inlet pressure (p) of the fluid are/is measured and transferred to a control and/or regulating unit (13, 14).

11. Method according to Claim 10, **characterized in that** the control and/or regulating unit (13, 14) transfers to the machines (1, 6) and/or appliances (3, 8) signals, via which the state of entry of the fluid can be set.

12. Method according to Claim 10 or 11, **characterized in that** the control and/or regulating unit (13, 14) triggers an alarm when the real gas factor (z) of the fluid upon entry into the centrifugal pump (11) has not yet reached its minimum.

13. Method according to one of Claims 10 to 12, **characterized in that** the control and/or regulating unit (13, 14) shuts down the plant when the real gas factor (z) of the fluid upon entry into the centrifugal pump (11) has not yet reached its minimum.

14. Method according to one of Claims 7 to 13, **characterized in that** the state of entry of the fluid is set by means of machines (1, 6) designed as compressors and/or by means of appliances (3, 8) designed as heat exchangers.

15. Method according to Claim 14, **characterized in that** the fluid to be conveyed passes through at least one compression stage (1, 6) and/or one cooling stage (3, 8).

## Revendications

1. Procédé de transport de fluides par des pompes centrifuges (11), dans lequel des machines (1, 6) et/ou des appareils (3, 8) sont disposés avant une pompe centrifuge (11), lesquels influencent la pression et/ou la température du fluide, **caractérisé en ce que** l'on mesure la température d'entrée (T) et/ou la pression d'entrée (p) du fluide et on la retransmet à une unité de commande et/ou de régulation (13, 14), dans lequel l'unité de commande et/ou de régulation (13, 14) retransmet aux machines (1, 6) et/ou aux appareils (3, 8) des signaux par lesquels l'état d'entrée du fluide peut être réglé, dans lequel on règle au moyen des machines (1, 6) et/ou des appareils (3, 8) l'état d'entrée du fluide dans la pompe centrifuge (11), de telle manière que le fluide ne prenne dans la pompe centrifuge (11) que des états dans lesquels le facteur de compressibilité (z) du fluide a déjà atteint ou dépassé son minimum.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le fluide se trouve à l'entrée dans la pompe centrifuge (11) et/ou dans la pompe centrifuge (11) dans un état hypercritique.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, lors d'une augmentation de la pression dans la pompe centrifuge (11), le facteur de compressibilité (z) du fluide reste constant ou augmente.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'unité de commande et/ou de régulation (13, 14) place le procédé dans un état de sécurité, lorsque le facteur de compressibilité (z) du fluide à

l'entrée dans la pompe centrifuge (11) n'a pas encore atteint son minimum.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'état d'entrée du fluide est réglable avec des machines (1, 6) se présentant sous forme de compresseurs et/ou des appareils (3, 8) se présentant sous forme d'échangeurs de chaleur.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le fluide à transporter traverse au moins un étage de compression et/ou un étage de refroidissement.

7. Procédé pour séquestrer du dioxyde de carbone, dans lequel on porte le dioxyde de carbone à une pression et/ou une température appropriée pour un gisement prévu et on le transporte dans le gisement, **caractérisé en ce qu'**une pompe centrifuge (11) pompe le dioxyde de carbone dans le gisement conformément au procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel des machines (1, 6) et/ou des appareils (3, 8) sont disposés avant la pompe centrifuge, lesquels influencent la pression et/ou la température du dioxyde de carbone, dans lequel on règle au moyen des machines (1, 6) et/ou des appareils (3, 8) l'état d'entrée du fluide, de telle manière que le fluide ne prenne dans la pompe centrifuge (11) que des états dans lesquels le facteur de compressibilité (z) du fluide a déjà atteint ou dépassé son minimum.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le fluide se trouve à l'entrée dans la pompe centrifuge (11) et/ou dans la pompe centrifuge (11) dans un état hypercritique.

9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, **caractérisé en ce que**, lors d'une augmentation de la pression dans la pompe centrifuge (11), le facteur de compressibilité (z) du fluide reste constant ou augmente.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** l'on mesure la température d'entrée (T) et/ou la pression d'entrée (p) du fluide et on la retransmet à une unité de commande et/ou de régulation (13, 14).

11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** l'unité de commande et/ou de régulation (13, 14) retransmet aux machines (1, 6) et/ou aux appareils (3, 8) des signaux par lesquels l'état d'entrée du fluide peut être réglé.

12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, **caractérisé en ce que** l'unité de commande et/ou de régulation (13, 14) déclenche une alarme, lorsque le facteur de compressibilité (z) du fluide à l'entrée dans la pompe centrifuge (11) n'a pas encore atteint son minimum.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, **caractérisé en ce que** l'unité de commande et/ou de régulation (13, 14) arrête l'installation, lorsque le facteur de compressibilité (z) du fluide à l'entrée de la pompe centrifuge (11) n'a pas encore atteint son minimum.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, **caractérisé en ce que** l'on règle l'état d'entrée du fluide avec des machines (1, 6) se présentant sous forme de compresseurs et/ou des appareils (3, 8) se présentant sous forme d'échangeurs de chaleur.

15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** le fluide à transporter traverse au moins un étage de compression (1, 6) et/ou un étage de refroidissement (3, 8).

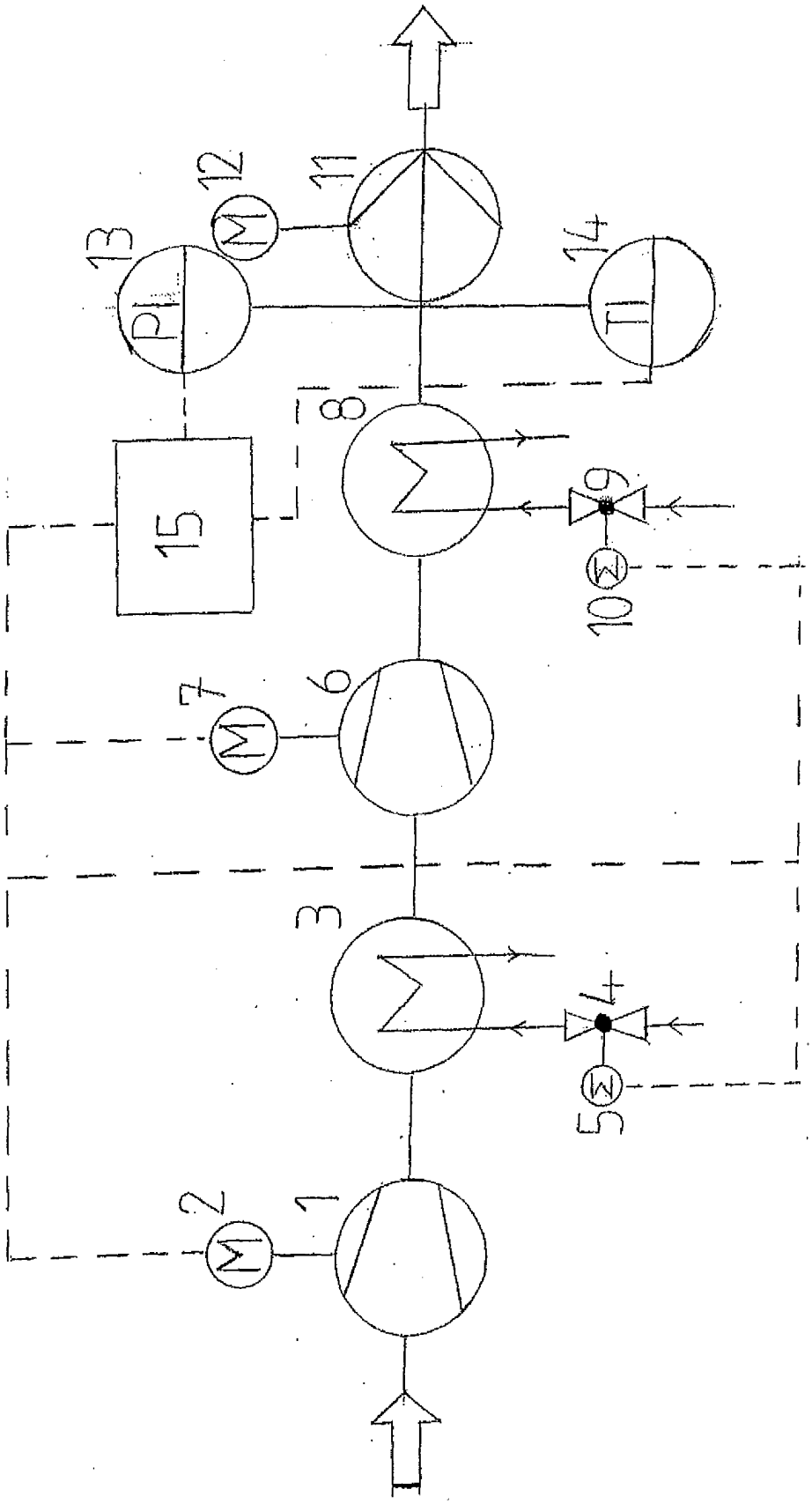



Fig.1

Fig. 2

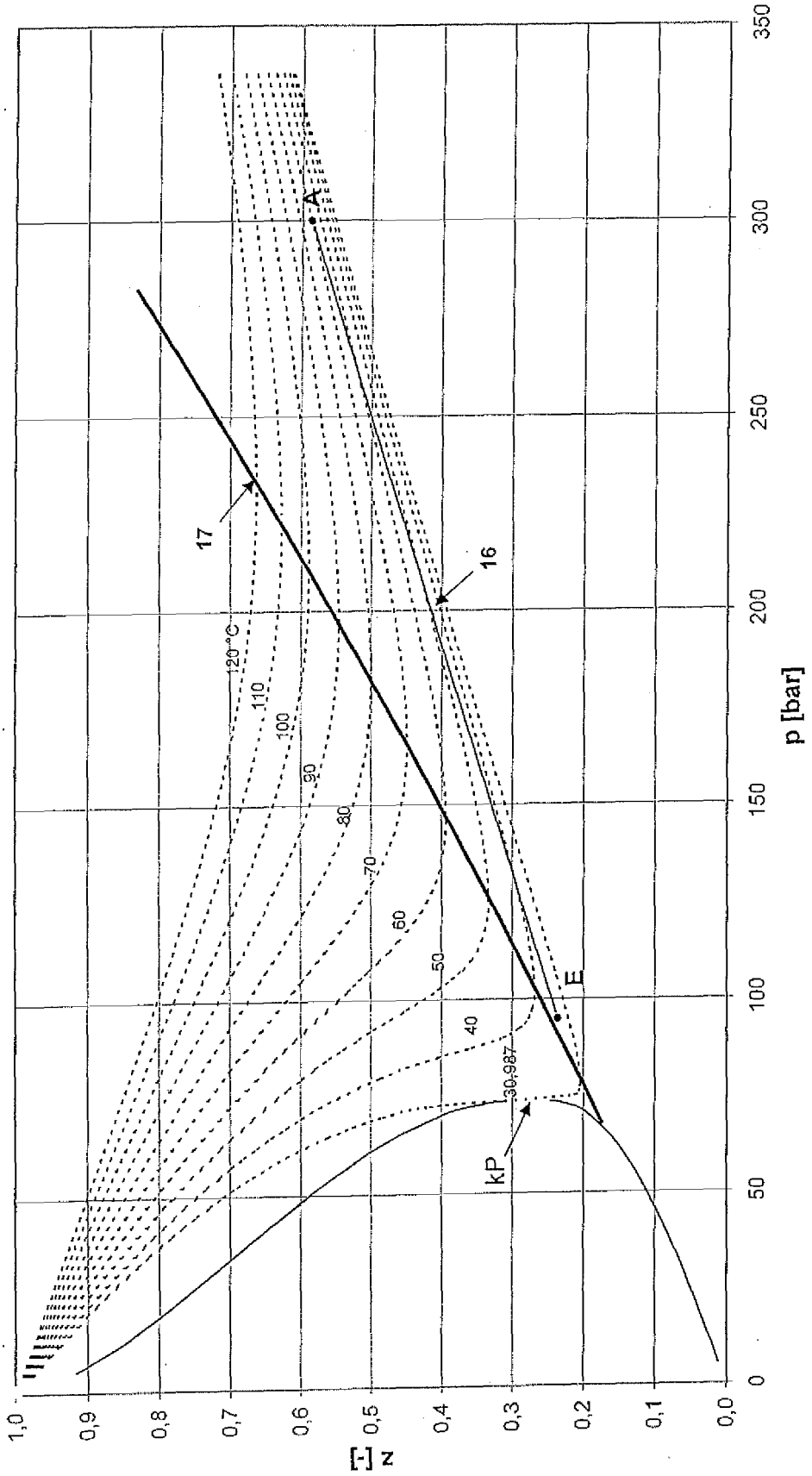

A
E
kP
17
16
120 °C
110
100
90
80
70
60
50
40
30,987
z [-]
p [bar]
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
0
50
100
150
200
250
300
350

Fig. 3

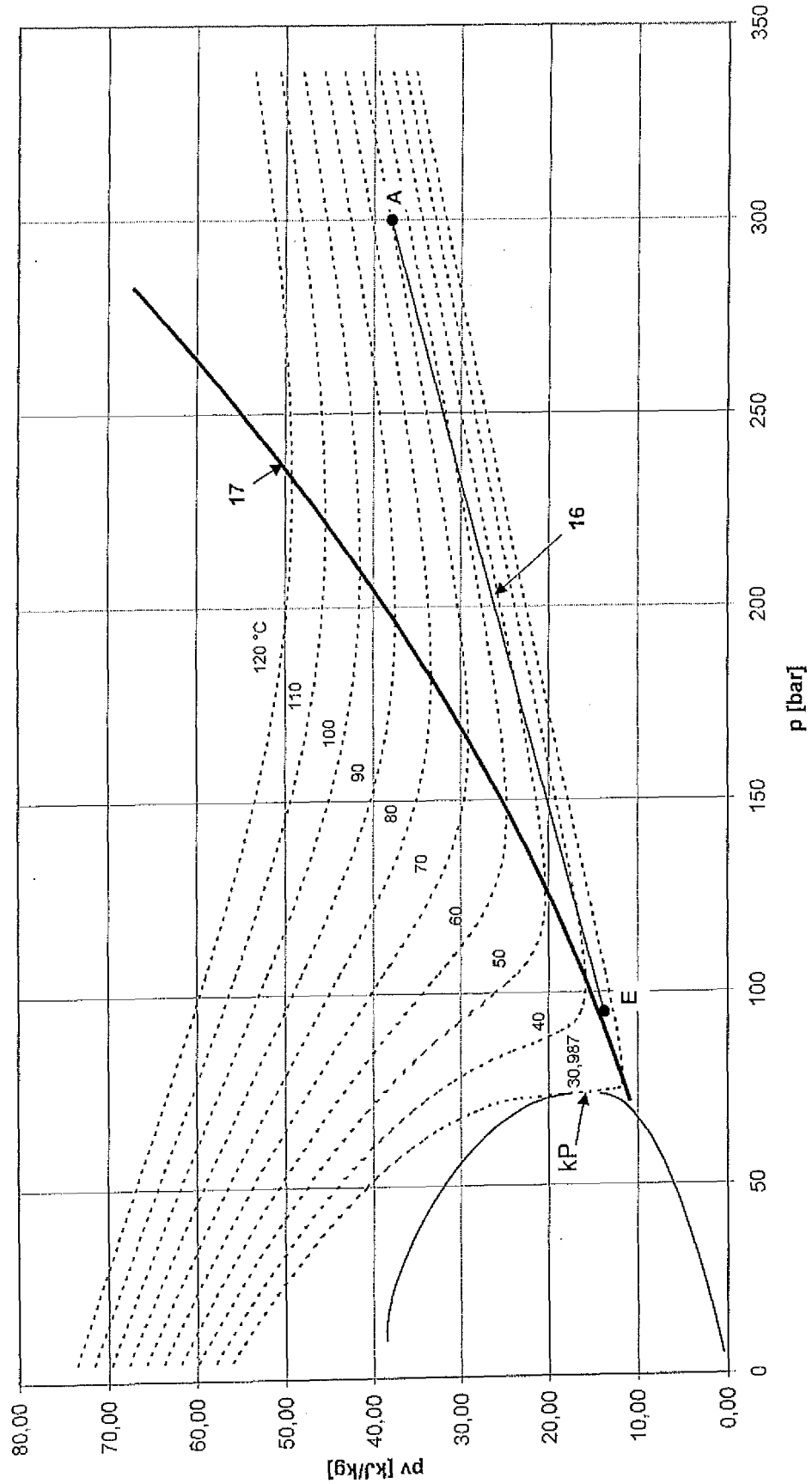

pv [kJ/kg]
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
p [bar]
0
50
100
150
200
250
300
350
120 °C
110
100
90
80
70
60
50
40
30,987
kP
A
E
16
17

Fig. 4a

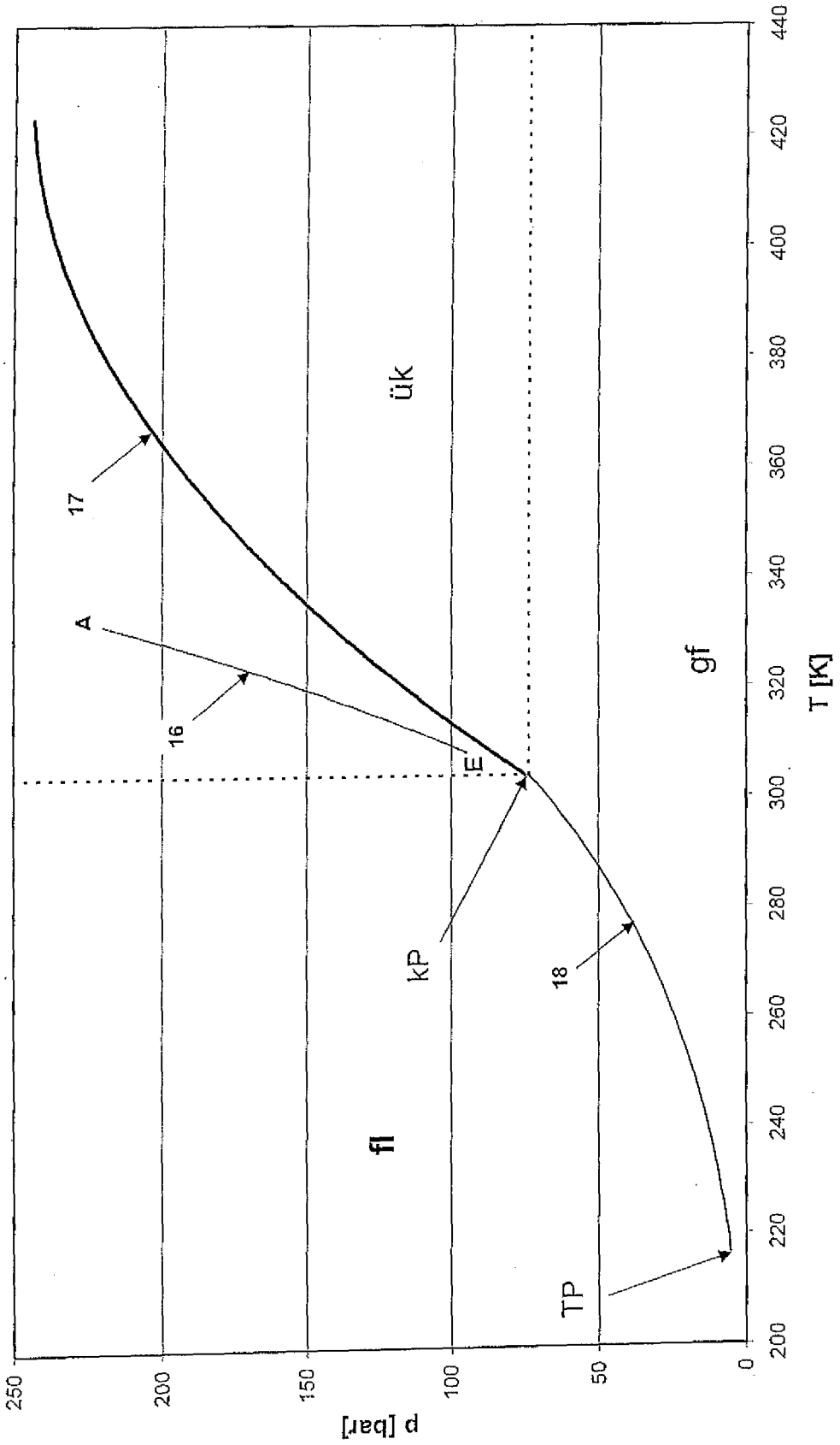
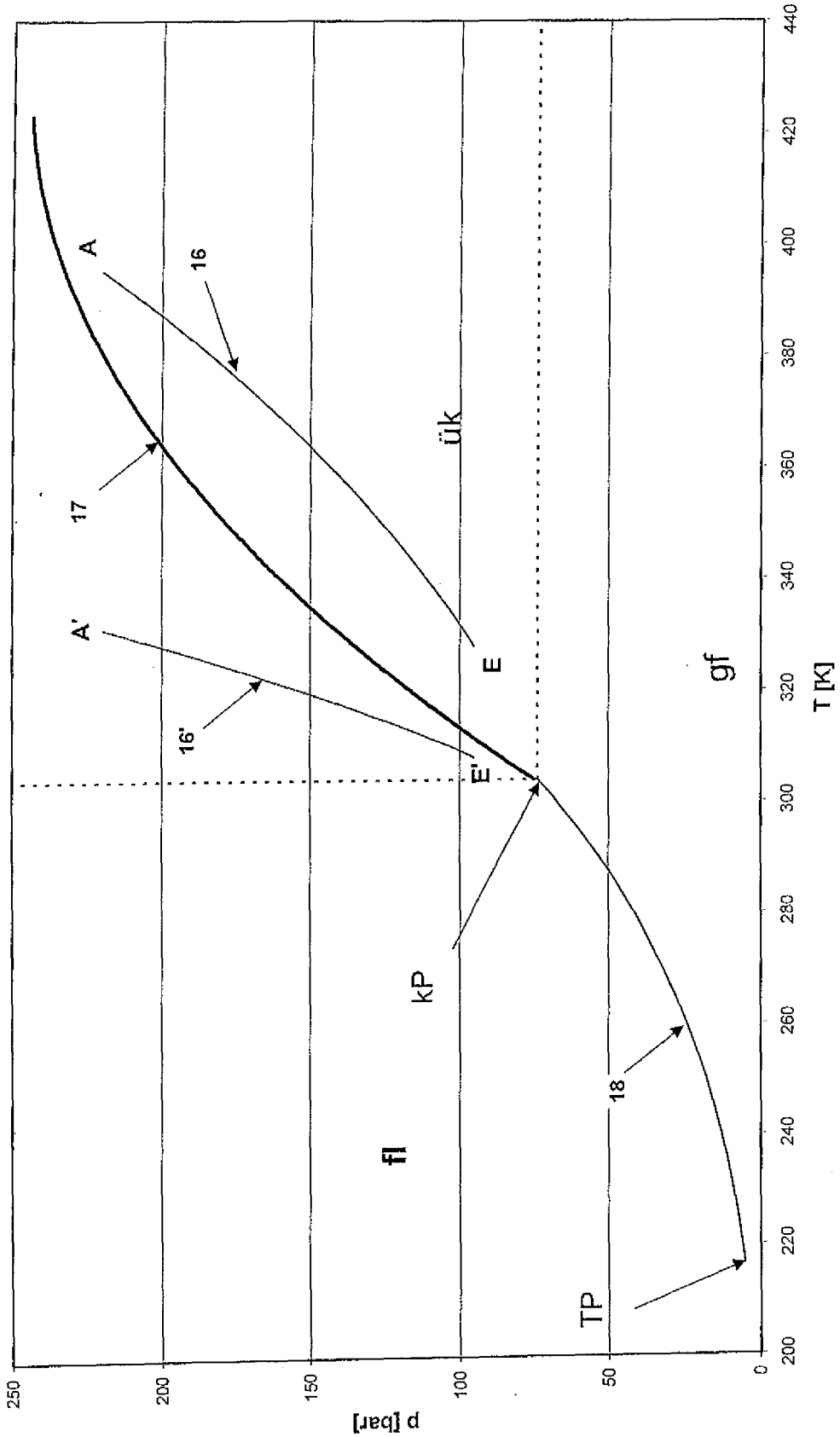

p [bar]
T [K]
fl
Ük
gf
A
E
kP
TP
16
17
18
250
200
150
100
50
0
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440

Fig. 4b


p [bar]
T [K]
250
200
150
100
50
0
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
A
A'
16
16'
17
18
E
E'
kP
ük
TP
fl
gf

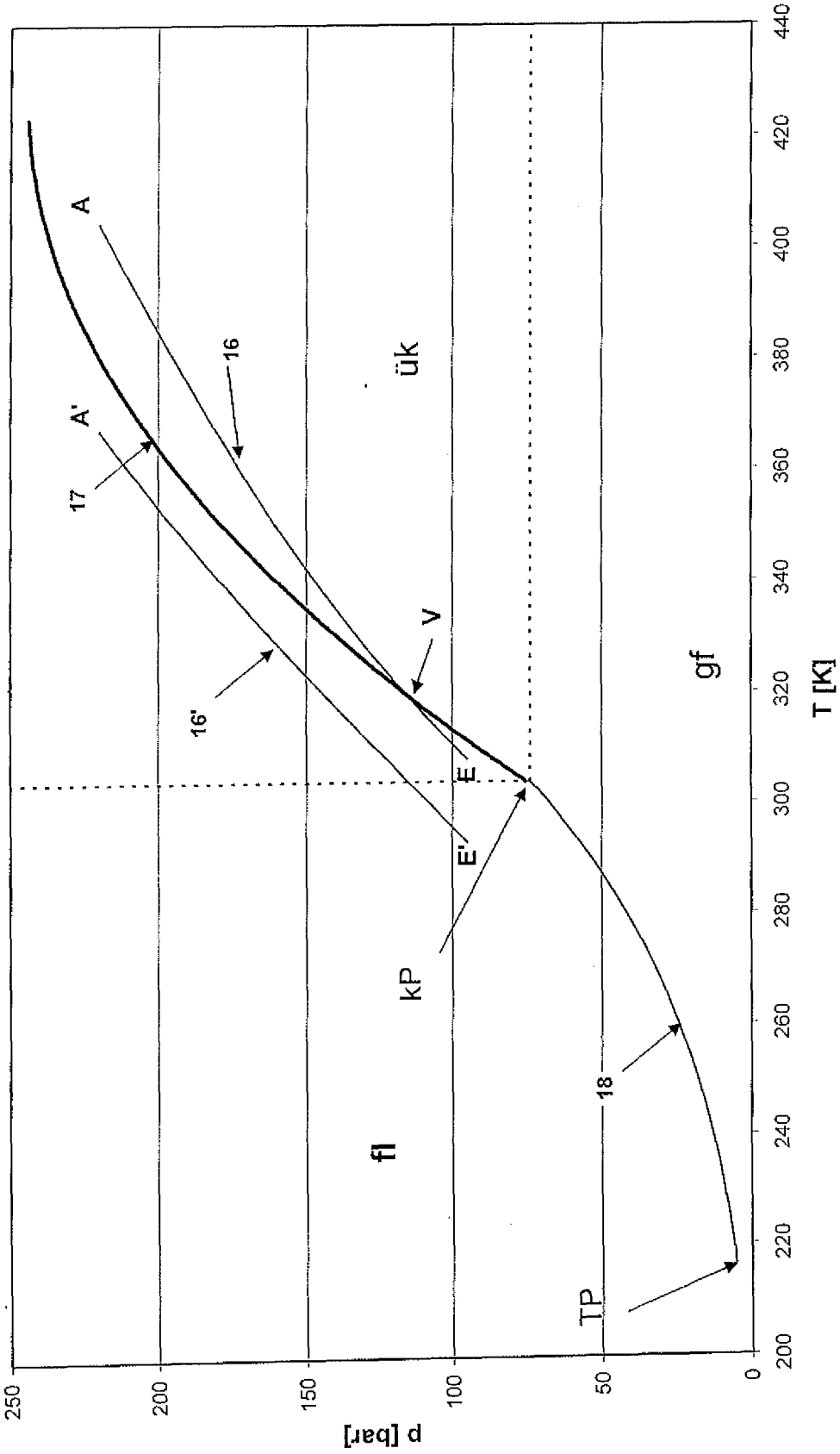

p [bar]
T [K]
250
200
150
100
50
0
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
A
A'
16
16'
17
18
E
E'
V
kP
TP
fl
ük
gf

Fig. 4c

## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente


- WO 2005052365 A2 **[0006] [0008]**
- WO 0063529 A **[0007]**
- WO 9941490 A1 **[0008]**
- US 20050155378 A1 **[0008]**