



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 757 179 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.02.1997 Patentblatt 1997/06**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **F04D 17/14**, F04D 29/58,  
F04D 25/00

(21) Anmeldenummer: **95810491.1**

(22) Anmeldetag: **31.07.1995**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC NL  
PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**LT SI**

(71) Anmelder: **Sulzer Turbo AG**  
**CH-8005 Zürich (CH)**

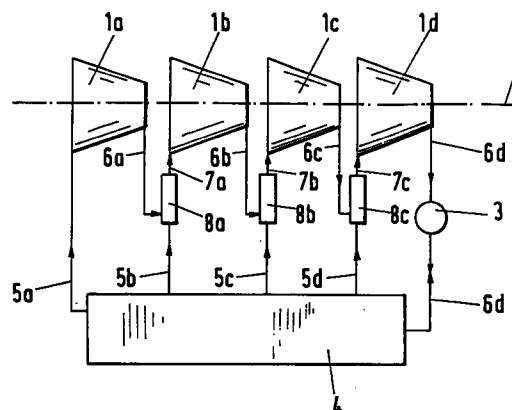
(72) Erfinder:  
• **Aicher, Walter**  
**CH-8413 Neftenbach (CH)**  
• **Lorenzen, Heinrich**  
**CH-5417 Untersiggenthal (CH)**

(74) Vertreter: **Triebnig, Adolf**  
**Sulzer Management AG,**  
**KS/Patente/0007,**  
**Zürcherstrasse 12**  
**8401 Winterthur (CH)**

(54) **Kompressionsvorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft eine Kompressionsvorrichtung (10) umfassend einen Turbokompressor (1) mit einer Mehrzahl von Kompressionsstufen (1a,1b,1c,1d) sowie Zuspaiseströme (5b,5c,5d), wobei die Kompressionsvorrichtung (10) zum Betrieb eines Kältemittelkreislaufes, insbesondere mit einem Kohlenwasserstoffgas wie Propan, Äthylen, Methan oder ein Gemisch davon dient, wobei ausserhalb des Turbokompressors (1) eine Mischvorrichtung (8a,8b,8c) angeordnet ist, und wobei eine vorhergehende und eine folgende Kompressionsstufe (1a,1b,1c,1d) über die Mischvorrichtung (8a,8b,8c) miteinander verbunden sind, derart, dass der für die folgende Kompressionsstufe (1b,1c,1d) vorgesehene Zuspaisestrom (5b,5c,5d) in die Mischvorrichtung (8a,8b,8c) mündet, um den Zuspaisestrom (5b,5c,5d) mit einem Hauptstrom (6a,6b,6c) der vorhergehenden Kompressionsstufe (1a,1b,1c) zu mischen.

Fig.2a



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Kompressionsvorrichtung umfassend einen Turbokompressor gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Es ist bekannt, Turbokompressoren für Kältemittel-Kreisläufe in Äthylen- und Ammoniak-Anlagen oder zur Verflüssigung von Erdgas und Erdölbegleitgas zu verwenden. Solche Anlagen werden als LNG-Anlagen (liquefied natural gas) oder als LPG-Anlagen (liquefied petroleum gas) bezeichnet. Einer LPG-Anlage werden die an einer Fundstelle gesammelten Erdölgase verdichtet zugeführt. Die LPG-Anlage trennt die Komponenten dieses Gases durch stufenweise Entspannung und Kühlung voneinander. Bei Naturgasverflüssigungsanlagen (LNG-Anlagen) wird das unter Pipelinedruck angelieferte Erdgas durch mehrere Kältekreisläufe, die mit Kohlewasserstoffgasen, insbesondere Propan, Äthylen oder Methan, betrieben werden, sehr stark abgekühlt. Durch eine nachfolgende Entspannung wird das abgekühlte Erdgas verflüssigt. Als Endprodukt liegt bei beiden Prozessen ein transportfähiges, verflüssigtes Gas vor. Eine LPG- oder LNG-Anlage erfordert eine beträchtliche Tieftemperatur-Kühlleistung. Als 1. Vor-  
kühlstufe wird oft ein Propankreislauf verwendet, welcher mit einem grossen Turbokompressor betrieben wird. Der Propankreislauf ist üblicherweise mit mehreren Kühlstufen ausgestaltet, wobei ein mehrstufiger Kompressor mit einer oder mehreren Zwischeneinspeisungen verwendet wird. Ein solches Kühlsystem mit Propankreislauf und Zwischeneinspeisungen ist bekannt aus "Refrigeration System Stability Linked to Compressor and Process Characteristics, Clifford E. Lucas, Chemical Engineering Process, November 1989", wobei die daraus bekannte Zwischeneinspeisung in Fig. 1 dargestellt ist.

Ein Nachteil dieser bekannten Kühlvorrichtung ist darin zu sehen, dass sie unter bestimmten Betriebsbedingungen zu einem instabilen Verhalten neigt. Ein Grund dafür ist in der Zwischeneinspeisung zu sehen, deren Zuspisemenge sehr gross sein kann, teilweise grösser als der jeweilige Hauptstrom in der Kompressionsstufe. Die Zuspisemenge weist eine tiefere Temperatur auf als der Hauptstrom. Das Gemisch von Hauptstrom und Zuspisemenge kann beim Eintritt in das Laufrad ein inhomogenes Mischverhältnis aufweisen, was in der Kompressionsstufe zu einem instabilen Verhalten führen kann.

Ein weiterer Nachteil der bekannten Kühlvorrichtung ist darin zu sehen, dass sie eine relativ dicke Welle erfordert, weil eine Mehrzahl von Laufräder auf der Welle angeordnet sind.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung vorzuschlagen, welche die genannten Nachteile überwindet.

Diese Aufgabe wird gelöst gemäss den Merkmalen von Anspruch 1. Die Unteransprüche 2 bis 7 beziehen sich auf weitere, vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Die Aufgabe wird insbesondere dadurch gelöst, dass ausserhalb des Turbokompressors eine Mischvorrichtung angeordnet ist, dass eine in Bezug zur Stromrichtung des Hauptstromes vorhergehende und eine dieser folgenden Kompressionsstufen über die Mischvorrichtung miteinander verbunden sind, und dass der für die folgende Kompressionsstufe vorgesehene Zuspisestrom in die Mischvorrichtung mündet, um den Zuspisestrom mit einem Austrittsstrom bzw. Hauptstrom der vorhergehenden Kompressionsstufe zu mischen

Ein Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Mischvorrichtung eine gute Durchmischung von Hauptstrom und Zuspisestrom bewirkt, sodass in die nächstfolgende Kompressionsstufe eine Fluid mit einer homogenen Temperaturverteilung eingespiessen wird. Dies führt zu einem stabileren Betriebsverhalten der Kompressionsstufe. Ein Propan-Kühlkreislauf kann ein Volumen der Zwischeneinspeisungen aufweisen, welches teilweise grösser ist als dasjenige des Hauptstromes und zudem eine tiefere Temperatur aufweist. Durch die Mischung dieser beiden Volumenströme ausserhalb des Kompressors wird erreicht, dass die Maschinencharakteristik völlig unabhängig vom beigemischten Volumen und dessen Temperatur genau bestimmt werden kann. Eine thermodynamische Auslegung eines Kompressors kann somit auf völlig konventionelle Art aufgrund des gemittelten Eintrittszustandes des Fluides durchgeführt werden.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Kompressionsvorrichtung in mehrere, einzelne Kompressoren aufteilbar ist. Insbesondere vorteilhaft ist die Verwendung von Kompressoren mit zwei gegeneinander angeordneten Laufrädern. Dadurch kann der Eintritt des Fluides in den Kompressor am freien Ende angeordnet sein. Dadurch kann der Durchmesser der Welle und damit auch die Machzahl am Eintritt des Laufrades klein gehalten werden. Als Folge davon wird die Kennlinie der Kompressionsstufe über einen weiten Bereich stabil. Dadurch lässt sich bei gegebener Drehzahl und notwendigem Laufraddurchmesser ein kleinerer Durchmesser der Laufrad-Deckscheibe und damit eine kleinere Eintritts-Machzahl erzielen.

Ein weiterer Vorteil einer Kompressionsvorrichtung bestehend aus mehreren Kompressoren ist darin zu sehen, dass der Kompressor keine lange Welle mehr aufweist. Insbesondere dann, wenn die lange Welle zudem noch dünne Stellen zur Aufnahme des Laufrades aufweist, führte dies zu schlechten mechanischen Eigenschaften und zu einem instabilen Verhalten. Die erfindungsgemässe Kompressionsvorrichtung erlaubt die Verwendung von kurzen und auch dünnen Wellen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Kompressor mit einer bekannten Anordnung der Beimischung;

- Fig. 2a eine schematische Darstellung der erfindungsgemässe Kompressionsvorrichtung;
- Fig. 2b eine schematische Darstellung einer weiteren erfindungsgemässen Kompressionsvorrichtung;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Kompressors mit bekannter Beimischung;
- Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Kompressionsvorrichtung;
- Fig. 5 eine Teilansicht eines Längsschnittes durch einen Kompressor;
- Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Anordnung von Kompressionsstufen.

Fig. 1 zeigt einen aus dem Stand der Technik bekannten Kompressor 1 mit auf einer Welle 2 angeordneten Laufrädern 11a, 11b welche zur Kompression eines Kühlmittels dienen. In der ersten Kompressionsstufe wird der Basisstrom 5a mit dem Laufrad 11a verdichtet und tritt als Hauptstrom 6a wieder aus. Dem Kompressor 1 wird über eine Einlassöffnung 1f ein Zuspaisstrom 5b zugeführt, welcher innerhalb des Kompressorgehäuses 1e in den bereits durch das Laufrad 11a komprimierten Hauptstrom 6a münden. Dazu sind im Kompressorgehäuse 1e entsprechend ausgeformte interne Kanäle 60a, 60b, 61a angeordnet. Die beiden Ströme 6a, 5b werden gemischt und von dem nachfolgenden Laufrad 11b zu einem Hauptstrom 6b weiter verdichtet. Ein Nachteil dieser Anordnung ist darin zu sehen, dass sich die beiden Ströme 6a, 5b nicht homogen durchmischen, was zu einem instabilen Verhalten der Strömung im Laufrad 11b führen kann.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines bekannten, mehrstufigen Kühlmittelkreislaufes mit Propan, wie sie für grosse Kältekreisläufe bei LPG-Anlagen oder LNG-Anlagen verwendet werden. Der Kompressor weist 4 in Serie geschaltete und auf einer gemeinsamen Welle 2 angeordnete Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d auf. Das verdichtete Kühlmittel gelangt über den Endstrom 6d zu einem Kondensator 3 und danach weiter zum Prozess 4. Der nur schematisch dargestellte Prozess 4 führt den einzelnen Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d Zuspaisströme 5b, 5c, 5d zu.

Fig. 2a zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Kompressionsvorrichtung. Diese weist auf einer gemeinsamen Welle 2 seriell hintereinander angeordnete Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d auf. Der Endstrom 6d bzw. die Endentnahme mündet wiederum über einen Kompressor 3 in den nicht näher dargestellten Prozess 4. Aus dem Prozess 4 wird das Kühlmittel über den Basisstrom 5a sowie die Zuspaisströme 5b, 5c, 5d den einzelnen Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d wieder zugeleitet.

Dabei sind die einzelnen Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d derart ausgestaltet, dass das Kühlmittel über eine Entnahmeleitung 6a, 6b, 6c, durch die der Hauptstrom fliesst, wieder aus dem Kompressorgehäuse 1e hinaus geleitet wird. Ausserhalb des Kompressorgehäuses 1e sind Mischvorrichtungen 8a, 8b, 8c angeordnet, in welche sowohl der Zuspaisstrom 5b, 5c, 5d als auch der Hauptstrom 6a, 6b, 6c eingeleitet werden, und nach dem Durchmischen dieser beiden Ströme über die Zuführleitung 7a, 7b, 7c den Kompressionsstufen 1b, 1c, 1d wieder zugeführt wird. Die beiden Ströme 5b, 6a werden in der Mischvorrichtung 8a derart gemischt, dass der Strom mit einer homogenen Temperaturverteilung sowie einer homogenen Geschwindigkeitsverteilung aus der Mischvorrichtung 8a austritt und der Kompressionsstufe 1b zugeführt wird. Als Mischvorrichtung eignet sich eine Vielzahl von Ausführungsformen, insbesondere auch ein statischer Mischer, welcher bekanntlicherweise im Innern nur statisch angeordnete, das Fluid homogenisierende Einbauten aufweist.

Ein Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, dass sich die Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d auf unterschiedliche Art auf einer gemeinsamen Welle 2 anordnen lassen, oder sich auch auf mehreren, getrennten Wellen 2 anordnen lassen. Fig. 2b zeigt ein schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel, das sich, im Vergleich zu Fig. 2a, durch eine unterschiedliche Anordnung der Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d auf der Welle 2 auszeichnet. Auf der Welle 2 benachbart angeordnete Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d sind gegeneinander angeordnet, d.h. das Fluid benachbart angeordneter Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d fliesst axial in entgegengesetzter Richtung. So sind die Kompressionsstufen 1a und 1b, oder 1b und 1c, oder 1c und 1d gegeneinander angeordnet. Diese Anordnung weist den Vorteil auf, dass sich die in Verlaufsrichtung der Welle 2 wirkenden Kräfte der Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d besser gegenseitig kompensieren. Ansonst ist der Kühlmittelkreislauf analog zum Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2a ausgestaltet, wobei der Übersichtlichkeit halber nur eine Mischvorrichtung 8a mit den Entsprechenden Zu- und Ableitungen 5b, 6a, 7a dargestellt ist.

Fig. 4 zeigt das in Fig. 2b dargestellte Ausführungsbeispiel in einer detaillierteren Ausgestaltung. Die in Fig. 2b dargestellte Welle 2 ist im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 unterteilt in zwei separate Wellen 2, welche über eine Verbindungswelle 2a miteinander verbunden sind. Die Kompressionsvorrichtung 10 umfasst zwei Kompressoren 1, welche über die Verbindungswelle 2a miteinander verbunden sind, sowie die Mischvorrichtungen 8a, 8b, 8c und die Fluidströme leitenden Verbindungsleitungen 5a, 5b, 5c, 5d, 6a, 6b, 6c, 6d. Jeder Kompressor 1 weist zwei Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d auf, die, wie in Fig. 5 dargestellt, auf der Welle 2 gegeneinander angeordnet sind. Eine Antriebsvorrichtung 12, zum Beispiel ein Elektromotor, eine Gasturbine oder eine Dampfturbine, treibt die erste

Welle 2 an, wobei diese über die Verbindungswelle 2a mit der Welle 2 des zweiten Kompressors 1 direkt oder über ein Getriebe verbunden ist und diesen antreibt. Ein- und Auslassöffnungen der Kompressionsstufen 1a, 1b, 1c, 1d sind nach aussen geführt, sodass ausserhalb der Kompressoren 1 die Mischvorrichtungen 8a, 8b, 8c angeordnet werden können und mit Rohren entsprechend verbunden werden könnten, um den Basisstrom 5a, die Zuspaiseströme 5b, 5c, 5d sowie die Hauptströme 6a, 6b, 6c und den Endstrom 6d entsprechend zu leiten.

Fig. 5 zeigt den oberen Teil eines Längsschnittes durch einen Kompressor 1, wie er in Fig. 4 verwendet wurde. Das Kompressorgehäuse 1e weist entsprechend geformte Kanäle auf, sodass der Kältemittelstrom 7a, 7b in den Kompressor 1 eintritt, durch die Laufräder 11a, 11b verdichtet wird, und als Entnahmestrom bzw. Hauptstrom 6b, 6c wieder aus dem Kompressor 1 austritt. Derart weist der dargestellte Kompressor zwei Kompressionsstufen 1b, 1c auf. Weil der in den Kompressor 1 eintretende Strom am freien Ende der Welle 2 angeordnet ist kann die Welle 2 und damit der Eintrittsdurchmesser des Laufrades relativ klein ausgestaltet werden. Die Anordnung gemäss Fig. 5 erlaubt eine relativ dünne Welle 2 und Laufräder 11a, 11b mit einem geringen Durchmesser zu verwenden. Derartige Laufräder 11a, 11b weisen eine kleinere Machzahl auf, was eine höhere Strömungsstabilität des Fluides im Kompressor 1, insbesondere im Laufrad 11a, 11b bewirkt.

Fig. 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Kompressors 1, welcher auf der rechten Seite eine Kompressionsstufe 1a mit einer Kompressorstufe aufweist, und auf der linken Seite eine Kompressionsstufe 1b mit zwei in Serie geschalteten Kompressorstufen 1e, 1f, sodass der Kältemittelstrom 5a erst beim Hauptstrom 6a wieder austritt. Unter einer Kompressorstufe 1e, 1f wird eine Verdichtungsstufe verstanden, welche ein einziges Laufrad zur Verdichtung aufweist. Eine Kompressionsstufen 1a, 1b kann eine einzige Kompressorstufe 1e, 1f aufweisen, oder auch eine Mehrzahl von in Serie geschalteter Kompressorstufen 1e, 1f.

### Patentansprüche

1. Kompressionsvorrichtung (10) umfassend einen Turbokompressor (1) mit einer Mehrzahl von Kompressionsstufen (1a, 1b, 1c, 1d) sowie Zuspaiseströme (5b, 5c, 5d), wobei die Kompressionsvorrichtung (10) zum Betrieb eines Kältemittelkreislaufes, insbesondere mit einem Kohlenwasserstoffgas wie Propan, Äthylen, Methan oder ein Gemisch davon dient, dadurch gekennzeichnet, dass ausserhalb des Turbokompressors (1) eine Mischvorrichtung (8a, 8b, 8c) angeordnet ist, dass eine vorhergehende und eine folgende Kompressionsstufe (1a, 1b, 1c, 1d) über die Mischvorrichtung (8a, 8b, 8c) miteinander verbunden sind, und dass der für die folgende Kompressionsstufe

(1b, 1c, 1d) vorgesehene Zuspaisestrom (5b, 5c, 5d) in die Mischvorrichtung (8a, 8b, 8c) mündet, um den Zuspaisestrom (5b, 5c, 5d) mit einem Hauptstrom (6a, 6b, 6c) der vorhergehenden Kompressionsstufe (1a, 1b, 1c) zu mischen.

2. Kompressionsvorrichtung (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (8a, 8b, 8c) als ein statischer Mischer ausgeführt ist.
3. Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kompressionsstufe (1a, 1b, 1c, 1d) mindestens eine Kompressorstufe aufweist.
4. Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompressionsstufen (1a, 1b, 1c, 1d) in axialer Richtung beabstandet und/oder auf mehreren getrennten Wellen (2) angeordnet sind.
5. Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf einer gemeinsamen Welle (2) angeordnete, benachbarte Kompressionsstufen (1a, 1b, 1c, 1d) gegeneinander angeordnet sind.
6. Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei Kompressionsstufen (1a, 1b, 1c, 1d) auf einer gemeinsamen Welle (2) angeordnet sind.
7. Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompressionsstufen (1a, 1b, 1c, 1d) auf mehreren Wellen (2) angeordnet sind, und dass die Wellen (2) entweder mit Kupplungsmitteln untereinander verbunden sind oder mit je einer separaten Antriebsvorrichtung (12) angetrieben sind.
8. Kältemittelkreislauf, insbesondere mit einem Kohlenwasserstoffgas wie Propan, Äthylen, Methan oder einem Gemisch davon, mit einer Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
9. LPG-Anlage oder LNG-Anlage mit einer Kompressionsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Fig.1

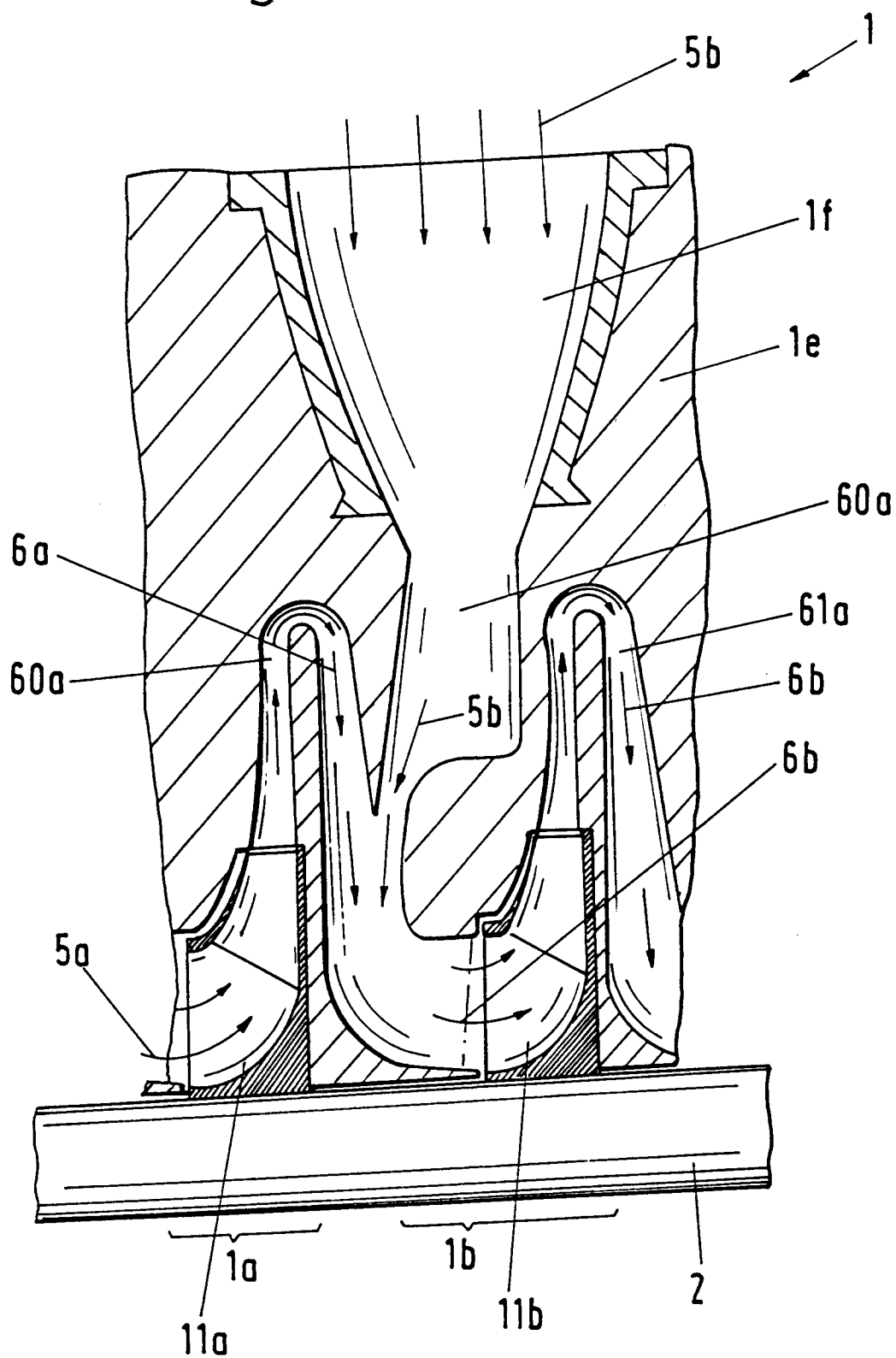


Fig.2a

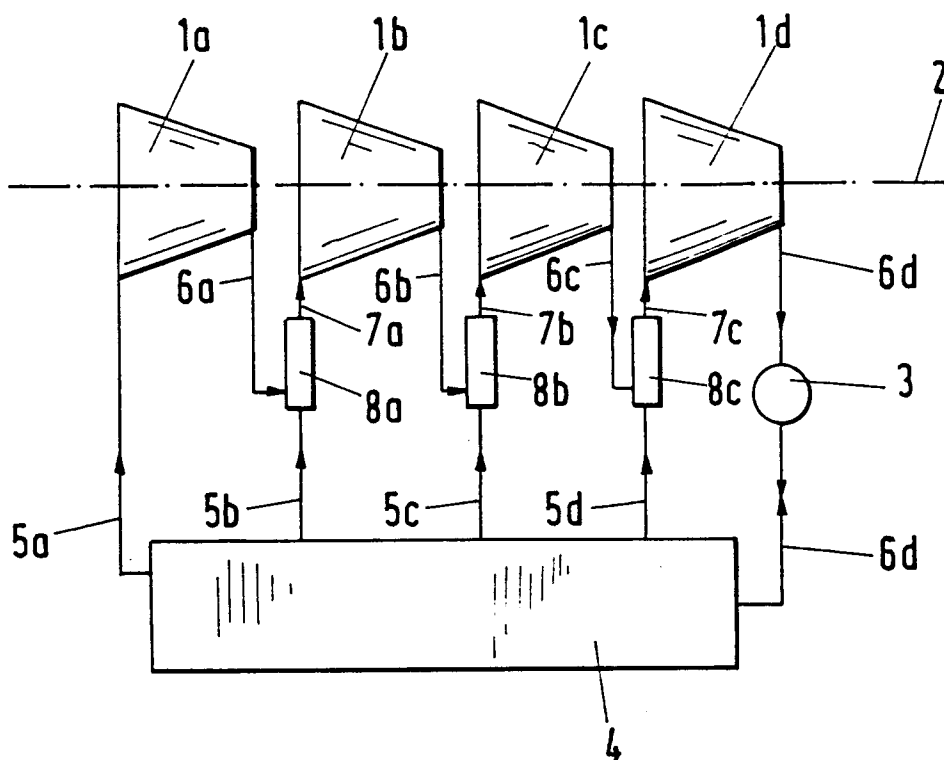


Fig.2b

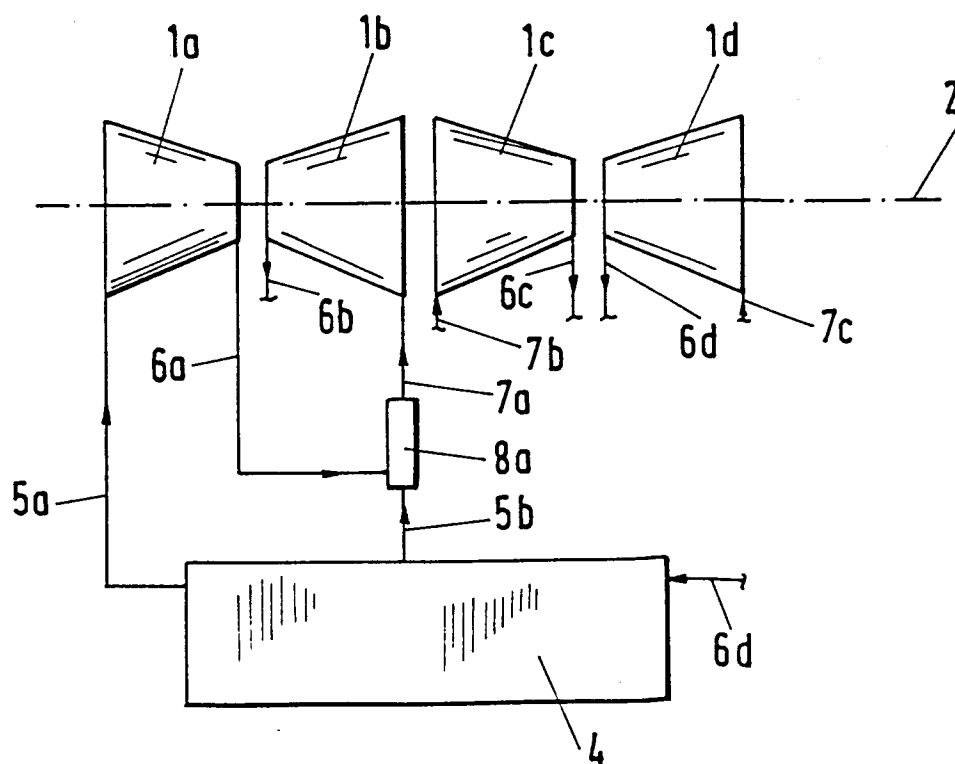


Fig.3

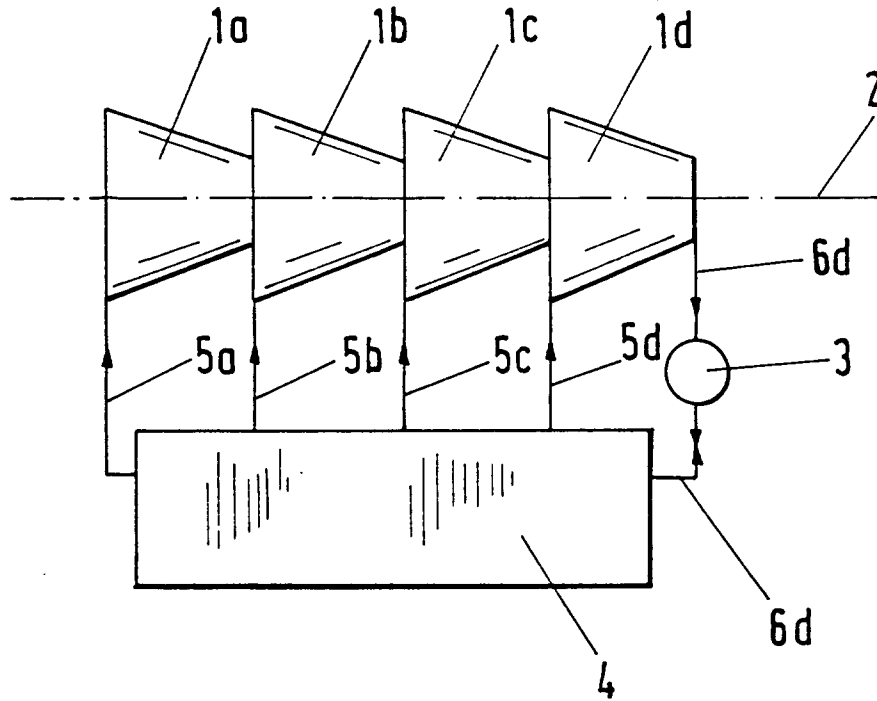


Fig.6

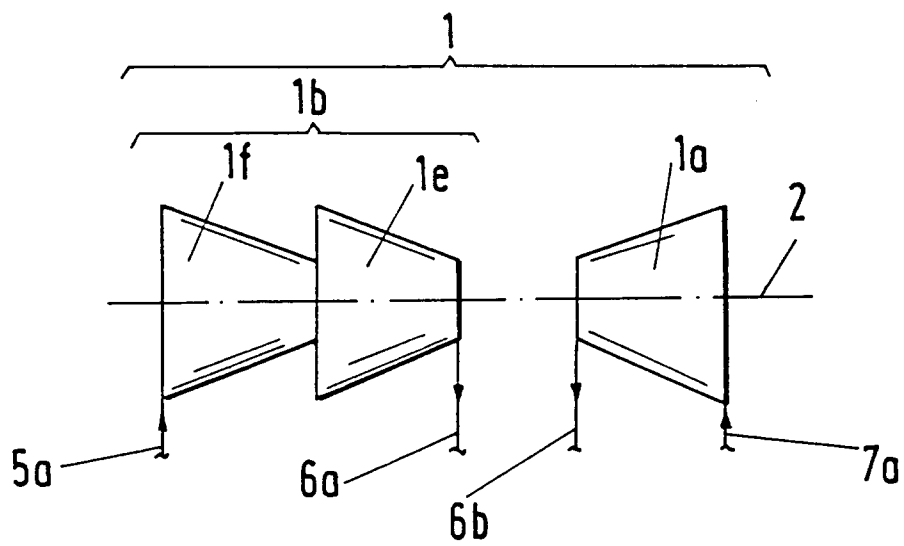
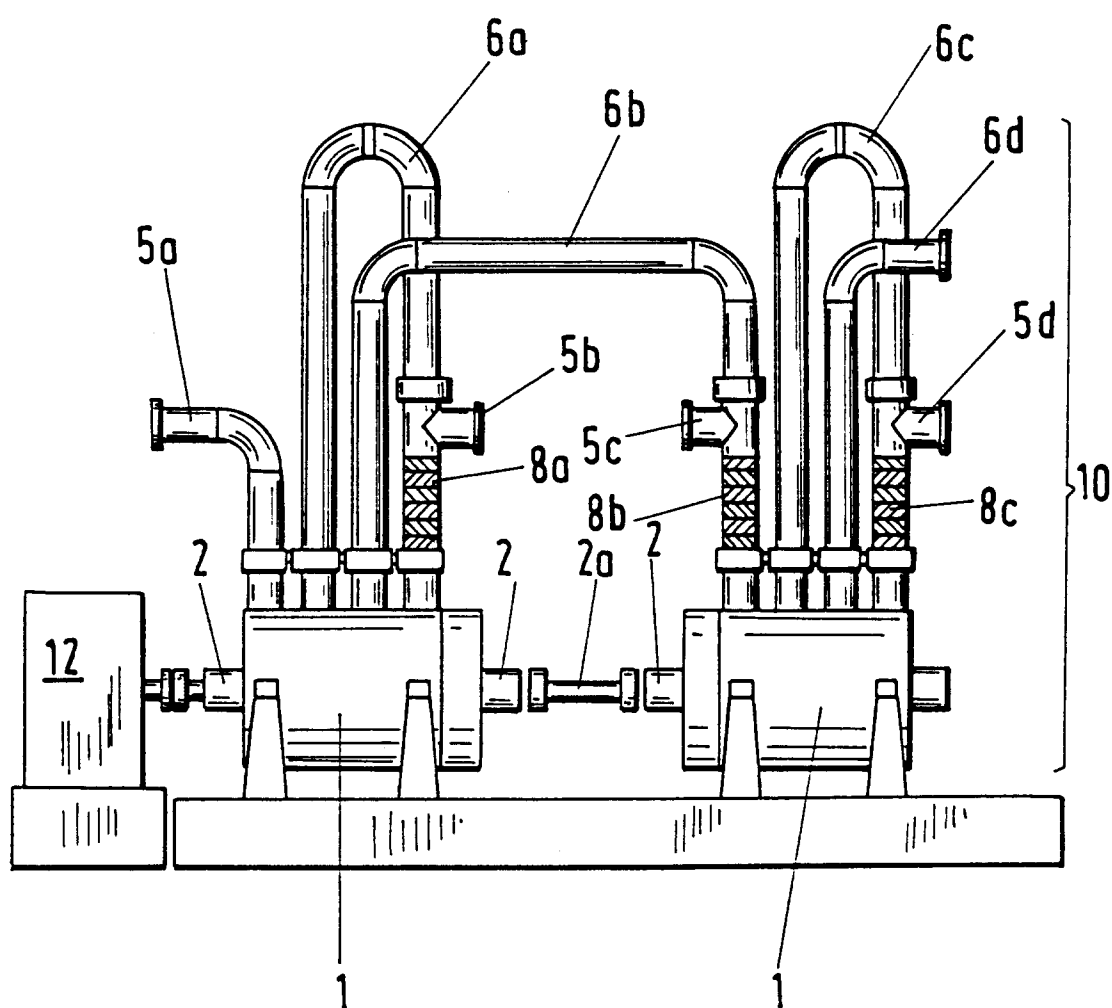


Fig.4





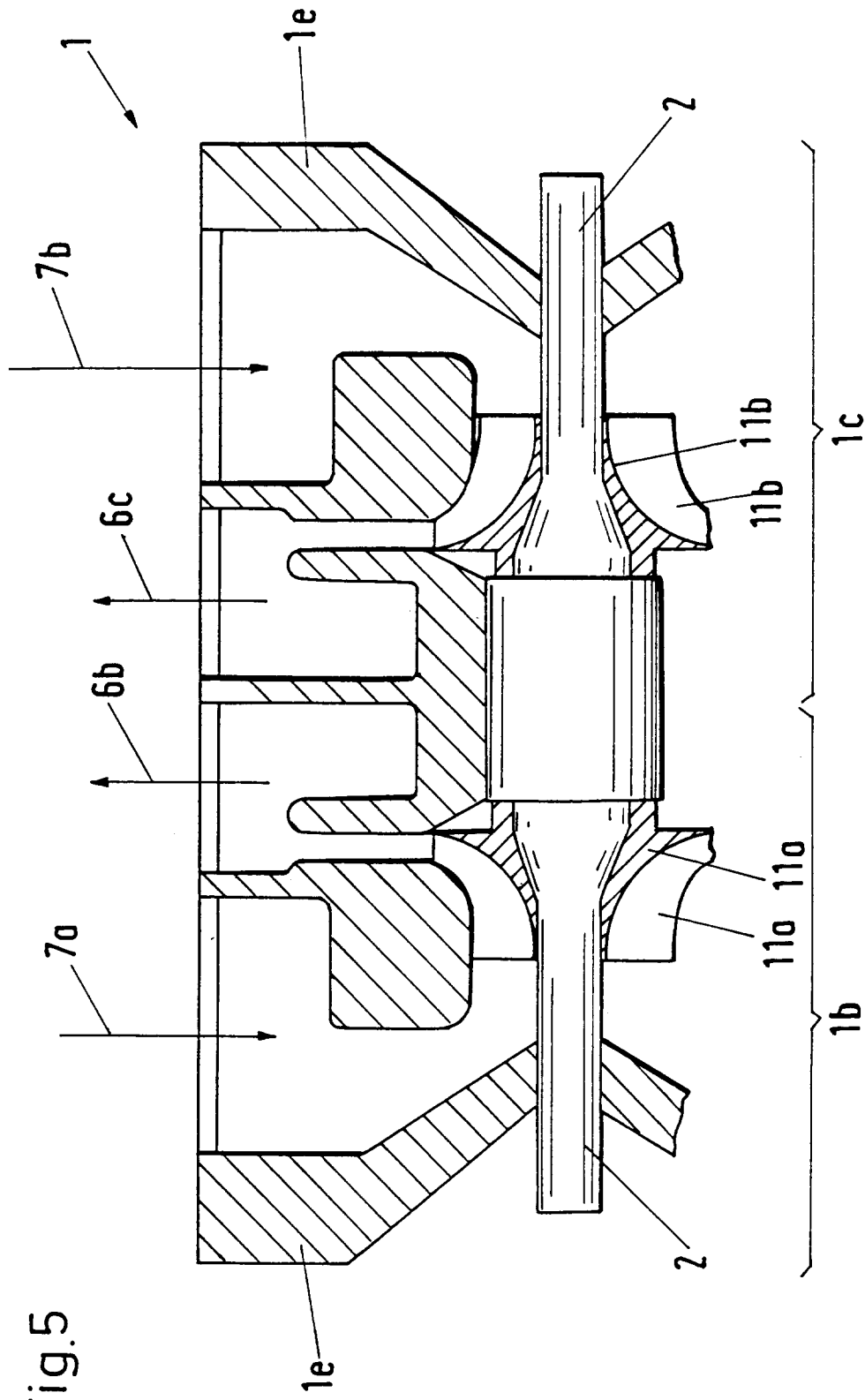


Fig.5



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 95 81 0491

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	DE-A-35 21 060 (SNAMPROGETTI) * das ganze Dokument *	1,3,8,9	F04D17/14
Y	---	2,4-7	F04D29/58
Y	CH-A-315 986 (SULZER) * das ganze Dokument *	2	F04D25/00
Y	---		
Y	REVUE TECHNIQUE SULZER, Nr.1, 1975 Seiten 17 - 36 C. MATILE ET AL 'hypercompresseurs centrifuges pour éthylène.'	4,5,7	
Y	---		
Y	GB-A-854 127 (POWER JETS) * das ganze Dokument *	6	
Y	---		
A	FR-A-2 040 794 (SOCIÉTÉ RATEAU) * das ganze Dokument *	1,3,4,7	
A	---		
A	US-A-3 889 485 (SWEARINGEN) * das ganze Dokument *	1-3,7-9	
A	---		
A	GB-A-2 073 393 (COMPAGNIE FRANCAISE DES PETROLES) -----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 13. Februar 1996	Prüfer Teerling, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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 andern Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.92 (PM/C03)