



(11) **EP 2 602 444 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.06.2013 Patentblatt 2013/24**

(51) Int Cl.:  
**F01K 13/00<sup>(2006.01)</sup> F01K 25/06<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **12194167.8**

(22) Anmeldetag: **26.11.2012**

(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**

(72) Erfinder:  
• **Donaubauer, Thomas**  
**94227 Zwiesel (DE)**  
• **Stadler, Florian**  
**94227 Zwiesel (DE)**  
• **Jahn, Ernst**  
**24941 Flensburg (DE)**

(30) Priorität: **05.12.2011 DE 102011056055**

(71) Anmelder: **UAS Messtechnik GmbH**  
**94234 Viechtach (DE)**

(74) Vertreter: **Benninger, Johannes**  
**Benninger & Eichler-Stahlberg**  
**Patentanwälte**  
**Dr.-Leo-Ritter-Strasse 5**  
**93049 Regensburg (DE)**

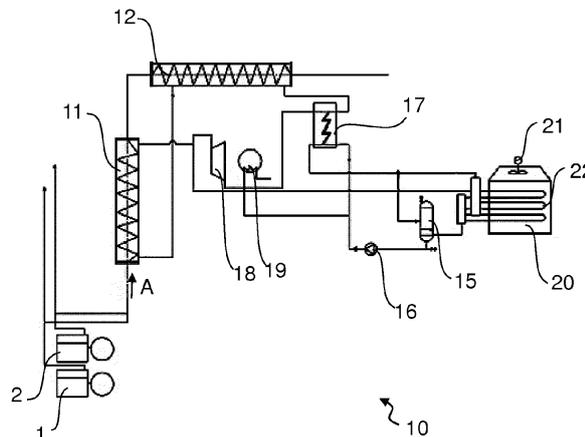
(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme (A), wobei die Abwärme (A) eine Temperatur ( $T_A$ ) von  $\geq 200^\circ\text{C}$  aufweist. Die Abwärme (A) durchströmt eine Kältemittelverdampfungseinheit (5). Das verwendete Kältemittel (C) wird zuerst um einen Faktor 15 bis 25 verdichtet und anschließend durch einen Rekuperator (17) geleitet und dabei grunderwärmt. Das hoch komprimierte, grunderwärmte Kältemittel (C) wird durch einen zweiten Wärmetauscher geleitet und dabei vorgewärmt und anschließend durch einen ersten Wärmetauscher geleitet, dabei weiter erhitzt und zu Kältemittel-Dampf (Cg) verdampft. Der erhitzte Kältemittel-Dampf (Cg) wird anschließend

in einer Turbine (18) entspannt und die dabei freigesetzte Energie wird verwendet, um einen Generator (19) anzutreiben.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme (A). Die Vorrichtung umfasst einen Kältemittelspeicher (15), eine Kältemittelpumpe (16), einen Rekuperator (17), eine Kältemittelverdampfungseinheit (5), einer Turbine (18) und einen Generator (19). Erfindungsgemäß ist die Kältemittelverdampfungseinheit (5) zweistufig aufgebaut und besteht aus einem ersten Wärmetauscher und einem zweiten Wärmetauscher, insbesondere aus einer Verdampfungseinheit (11) und einer Vorwärmeinheit (12).

Fig. 1



EP 2 602 444 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme gemäß den Merkmalen der Oberbegriffe der Ansprüche 1 und 7.

### Stand der Technik

**[0002]** Verfahren zur Nutzung von Abwärme von Blockheizkraftwerken, Biogasanlagen etc. sind bekannt. Häufig wird dabei das so genannte ORC- Verfahren (Organic Rankine Cycle) verwendet. Hierbei wird Strom aus Wärme gewonnen, insbesondere durch den Betrieb von Dampfturbinen mit einem anderen Arbeitsmittel als Wasserdampf. Das Verfahren kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke zu niedrig für den Betrieb einer mit Wasserdampf angetriebenen Turbine ist. Insbesondere wird das ORC- Verfahren also verwendet, wenn die Abwärme nicht ausreicht, um Wasser auf seine Verdampfungstemperatur aufzuheizen. Die Entspannungsmaschinen (Turbine, Schraubenexpander) werden typischerweise mit Silikonöl, Kältemittel oder einem brennbarem Gas betrieben.

**[0003]** DE 102007062085 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Stromgewinnung aus Wärme, wobei in der Rückführungsleitung des Verdampfermediums ein Zusatzwärmetauscher vorgesehen ist, an den Fremdwärme eingespeist wird, um das zum Verdampfer rücklaufende Medium vorzuwärmen.

**[0004]** DE 102009049476 A1 beschreibt ein Verfahren zur Stromerzeugung aus der Abwärme von BHKW Anlagen mittels einem ORC- Prozesses, wobei als Entspannungsorgan eine für den Druckluftbetrieb geeignete Turbine eingesetzt wird, die mit dem Arbeitsmittel Frigen R245fa und ölfrei betrieben wird. Die Verdampfung und Kondensation des eingesetzten Kältemittels erfolgt unterhalb von 90 °C. Diese Anlage ist somit nicht für den Einsatz geeignet, wenn die Abgase eine Temperatur von > 100°C aufweisen.

**[0005]** US2012-0131918 A1 beschreibt Wärmemotoren mit zyklischen Kaskaden um Energie aus Abwärme zu gewinnen. Hierbei ist eine Abgas- Wärmetauscher an einen Abgaserzeuger angeschlossen, so dass mit der Abwärme des Abgases einen ersten Arbeitsflüssigkeitsstrom zu erwärmen. Weiterhin ist eine erste Expansionsvorrichtung vorgesehen, die den ersten Strom aus dem Abgas- Wärmetauscher aufnimmt und damit eine Welle dreht. Ein erster Rekuperator nimmt den ersten Arbeitsflüssigkeitsstrom aus der ersten Expansionsvorrichtung auf und überträgt die Wärme auf einen zweiten Arbeitsflüssigkeitsstrom. Der aus dem Rekuperator kommende zweite Arbeitsflüssigkeitsstrom wird von einer zweiten Expansionsvorrichtung aufgenommen, die die Wärme des zweiten Arbeitsflüssigkeitsstroms auf einen kombinierten ersten und zweiten Arbeitsflüssigkeitsstrom überträgt.

**[0006]** US 2008/0115922 A1 zeigt einen Abgaswärmerückgewinnungswärmetauscher, umfassend ein Gehäuse, aufweisend einen Arbeitsfluideinlass, einen Arbeitsfluidauslass, einen Abgaseinlass und einen Abgasauslass, einen Abgasströmungspfad, der sich durch das Gehäuse zwischen dem Abgaseinlass und dem Abgasauslass erstreckt und einen Arbeitsfluidströmungspfad, der sich durch das Gehäuse zwischen dem Arbeitsfluideinlass und dem Arbeitsfluidauslass erstreckt und aufweisend einen ersten Teil und einen zweiten Teil. Eine Strömung des Arbeitsfluids entlang des ersten Teils des Arbeitsfluidströmungspfads kann im Wesentlichen entgegengesetzt zu einer Strömung des Abgases entlang des Abgasströmungspfads sein und der Strömung des Arbeitsfluids entlang des zweiten Teils des Arbeitsfluidströmungspfads sein.

**[0007]** US 4334409 verfolgt das Ziel, den Einsatz von Brennkraftmaschinen und insbesondere von großen aufgeladenen Dieselmotoren sehr wirtschaftlich zu führen. Dies soll insbesondere unter Verwendung der durch die Motoren erzeugte Wärme erfolgen. Bei dem beschriebenen Verfahren wird das Arbeitsmedium mit Hilfe der Wärmeenergie der aus dem Aufladegeräte der Brennkraftmaschine austretenden Luft zusätzlich vorerhitzt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist so ausgebildet, daß der Vorerhitzungskreis des Arbeitsmediums einen Wärmeaustauscher umfasst, der durch die aus dem Aufladegeräte des Motors auslaufende Luft gespeist wird und mit einem von dem Kühlungsmedium des Motors durchströmten Wärmeaustauscher reihenmäßig geschaltet ist.

**[0008]** WO2012/064477 A2 beschreibt eine chemische Verbindung zur Verwendung als Arbeitsmedium in Systemen zur Abwärmerückgewinnung und Energiegewinnung.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Nutzung von Abwärme mit Temperaturen > 200°C bereitzustellen.

**[0010]** Die obige Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Vorrichtung gelöst, die die Merkmale in den Patentansprüchen 1 und 7 umfassen. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden durch die Unteransprüche beschrieben.

### Beschreibung

**[0011]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme. Dies dient insbesondere der Nutzung von Abwärme, die beispielsweise beim Betrieb von Blockheizkraftwerken, Biogasanlagen o.ä. entsteht. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, Abwärme mit einer Temperatur von über 200 °C direkt nutzbar zu machen.

**[0012]** Die Vorrichtung dient der Erzeugung von elektrischem Strom insbesondere mittels eines ORC- Prozesses. Die Vorrichtung umfasst einen Kältemittelspeicher, eine Kältemittelpumpe, einen Rekuperator, eine Kältemittelverdampfungseinheit, eine Turbine und einen

Generator. Erfindungsgemäß ist die Kältemittelverdampfungseinheit zweistufig aufgebaut und umfasst einen ersten Wärmetauscher und einen zweiten Wärmetauscher. Der erste Wärmetauscher ist insbesondere als Verdampfungseinheit ausgebildet, der zweite Wärmetauscher ist insbesondere als Vorwärmeinheit ausgebildet.

**[0013]** Die Abwärme wird genutzt, um über die beiden Wärmetauscher der Kältemittelverdampfungseinheit ein Kältemittel zu erwärmen und verdampfen. Die Abwärme durchströmt zuerst den ersten Wärmetauscher und anschließend den zweiten Wärmetauscher, während das Kältemittel zuerst den zweiten Wärmetauscher und anschließend den ersten Wärmetauscher der Kältemittelverdampfungseinheit durchströmt. Während die Temperatur der Abwärme beim Durchströmen der Kältemittelverdampfungseinheit abnimmt, steigt die Temperatur des Kältemittels an, bis dieses schließlich verdampft und in seinen gasförmigen Aggregationszustand übergeht. Der heiße Kältemitteldampf wird verwendet, um über eine Turbine einen Generator anzutreiben.

**[0014]** Bevor das Kältemittel über den Kältemittelverdampfer erwärmt und verdampft wird, wird es zuerst mittels der Kältemittelpumpe um einen Faktor 15 bis 25 verdichtet. Das hoch komprimierte Kältemittel wird über einen Rekuperator geleitet und dabei von einer Anfangstemperatur auf eine erste Vorwärmtemperatur bzw. Grundwärme vorgewärmt. Das grunderwärmte hoch komprimierte Kältemittel wird dann durch den zweiten Wärmetauscher bzw. die Vorwärmeinheit der Kältemittelverdampfungseinheit geleitet und dabei weiter vorgewärmt. Das hoch komprimierte, vorgewärmte Kältemittel wird anschließend durch den ersten Wärmetauscher bzw. die Verdampfungseinheit geleitet, dabei weiter erhitzt und zu heißem Kältemittel-Dampf verdampft. Der hoch komprimierte, heiße Kältemittel-Dampf wird anschließend in einer Turbine entspannt und die dabei freigesetzte Energie wird verwendet, um einen Generator anzutreiben.

**[0015]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform liegt die anfängliche Temperatur des Kältemittels zwischen 30°C bis 60°C. In diesem Temperaturbereich weist das Kältemittel einen absoluten Kondensationsdruck zwischen ca. 1 bar bis 1,6 bar auf. Vor dem Erwärmungs- und Verdampfungsprozess wird das Kältemittel mittels einer Kältemittelpumpe auf ca. 25 bar verdichtet und anschließend über einen Rekuperator geleitet, wobei das hoch komprimierte Kältemittel auf eine Temperatur von etwa 100°C bis 120°C grunderwärmt wird. Das auf 100°C bis 120°C grunderwärmte hoch komprimierte Kältemittel wird dann durch die Vorwärmeinheit geleitet und dabei auf eine Vorwärmtemperatur von ca. 160°C erwärmt. Anschließend wird es durch die Verdampfungseinheit geleitet, dabei auf eine Verdampfungstemperatur von ca. 170°C erhitzt, wobei es zu Kältemittel-Dampf verdampft. Der Kältemittel-Dampf wird um weitere 10K auf ca. 180°C überhitzt, zu einer Turbine geleitet und dort auf den Kondensationsdruck zwischen 1 bar bis 1,6 bar

entspannt. Die dabei freigesetzte Energie wird verwendet, um einen an die Turbine angeschlossenen Generator zu betreiben.

**[0016]** Die zu nutzende Abwärme durchströmt die Verdampfungseinheit in derselben Bewegungsrichtung wie das Kältemittel und die Vorwärmeinheit gegenläufig zur Bewegungsrichtung des Kältemittels. In der Verdampfungseinheit wird die eingeleitete Abwärme um ca. 200K abgekühlt, insbesondere wird die in die Verdampfungseinheit eingeleitete Abwärme von einer Eingangstemperatur von ca. 500°C auf eine Ausgangstemperatur von ca. 300°C herunter gekühlt. Anschließend wird die ca. 300°C warme Abwärme in die Vorwärmeinheit eingeleitet und hierbei um weitere ca. 130K bis 180K, d.h. auf ca. 120°C bis 170°C, abgekühlt, so dass die Abwärme vor dem Austritt aus der Vorwärmeinheit eine Temperatur aufweist, die in etwa der Eintrittstemperatur des Kamins entspricht.

**[0017]** Die Wärmetauscher der Kältemittelverdampfungseinheit sind ebenfalls als Rekuperatoren ausgebildet, d.h. die Stoffströme der Abwärme und des Kältemittels sind räumlich durch eine wärmedurchlässige Wand getrennt und durchströmen den Wärmetauscher gleichzeitig. Insbesondere durchströmen die Abwärme und das Kältemittel den ersten Wärmetauscher, d.h. die Verdampfungseinheit im Gleichstrom. Den zweiten Wärmetauscher, d.h. die Vorwärmeinheit, durchströmen Abwärme und Kältemittel dagegen im Gegenstrom. Beim Durchströmen gibt die heiße Abwärme seine Wärme an das Kältemedium ab. Aufgrund unterschiedlicher Wärmekapazitäten und regulierbarer Strömungsflüsse kann die Wärmeübertragung dabei so gesteuert und reguliert werden, dass die o.g. Temperaturen der Abwärme und des Kältemittels erreicht werden.

**[0018]** Anstelle von Rekuperatoren können auch andere dem Fachmann bekannte, geeignete Wärmetauscher verwendet werden. Beispielsweise ist es denkbar, Regeneratoren als Wärmetauscher einzusetzen, wobei ebenfalls überflüssige Energie, die nach dem Entspannen des überhitzten Kältemitteldampfes in der Turbine noch im System vorhanden ist, verwendet wird. Insbesondere kann ein Regenerator die nach dem Entspannen weiterhin hohe Temperatur des Kältemitteldampfes von ca. 120°C bis 130°C verwenden. D.h. nach dem Entspannen in der Turbine weist das Kältemittel noch nicht wieder die notwendige Kondensationstemperatur zwischen 30 °C bis 60 °C auf. Der Regenerator arbeitet insbesondere mit halbindirekter Wärmeübertragung, d.h. das anfänglich kalte hoch komprimierte Kältemittel und das nach dem Entspannen immer noch heiße entspannte Kältemittel werden zeitversetzt mit dem Wärmespeicher in Kontakt gebracht. Der Wärmespeicher wird abwechselnd durch das heißere Medium erwärmt und danach durch das kältere Medium abgekühlt, um so thermische Energie vom heißeren auf das kältere Medium zu übertragen.

**[0019]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird als Kältemittel eine azeotrope Mischung auf der

Basis von Perfluorpolyether eingesetzt. Bei bekannten ORC- Modulen werden häufig Kältemittel auf der Basis von vollhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen eingesetzt. Aufgrund der daraus resultierenden Umweltprobleme ist es wünschenswert, Fluide mit geringem oder keinem Ozonschädigungspotential zu verwenden. Zudem ist es wünschenswert, Fluide oder azeotropen Gemische zu verwenden, die beim Sieden und Verdampfen nicht fraktionieren.

**[0020]** Perfluorpolyether sind vollsynthetisch hergestellte Moleküle, die ausschließlich die Elemente Fluor, Kohlenstoff und Sauerstoff enthalten. Die atomare Bindung von Fluor zum Kohlenstoff ist eine der stabilsten Verbindungen der Chemie überhaupt. Durch diese stabile Bindung ist das herausragend inerte Verhalten, die thermische und chemische Stabilität und eine Reihe weiterer besonderer physikalisch- chemischer Eigenschaften begründet. Vorzugsweise werden als Lösungsmittel und Wärmeübertragungsmedien niedermolekulare, nicht voll fluorierte PFPEs eingesetzt, die beidseitig von Wasserstoff abgeschlossen sind.

**[0021]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform verwendet man als Kältemittel eine solche azeotrope Mischung, die als weitere Komponente Pentafluorbutan enthält. Eine solche Mischung kocht unter Normaldruck bei 36.7°C. Das verwendete Kältemittel weist weitere besondere Vorteile auf. Eine solche azeotrope Mischung verhält sich wie eine einzige Verbindung, d.h. der flüssige und der gasförmige Aggregationszustand weisen jeweils dieselbe Zusammensetzung auf. Weiterhin ist bei einer Temperatur von 50°C der Gasdruck geringer als 3 bar, wodurch ein einfacher Transport und Lagerung des Kältemittels möglich ist, da keine unter Druck stehenden Gasbehälter verwendet werden müssen. Dies stellt auch einen wesentlichen Aspekt für die Sicherheit einer solchen Anlage dar. Weiterhin ist das Kältemittel im flüssigen Aggregationszustand nicht leicht entzündlich. Das Kältemittel ist nicht toxisch, weist aber einen charakteristischen Lösungsmittelgeruch auf, so dass Lecks in der Anlage einfach und schnell erkennbar sind. Das verwendete Kältemittel ist chemisch stabil und nicht aggressiv zu verschiedenen Materialien, so dass keine speziellen Behälter notwendig sind. Weiterhin ist das Kältemittel bei Dauerbetrieb mindestens bis ca. 190°C - 200°C thermisch stabil.

**[0022]** Gemäß einer Ausführungsform der Vorrichtung ist die Vorwärmeinheit horizontal liegend angeordnet und die Verdampfungseinheit ist in einem Winkel von ca. 45°C zur Vorwärmeinheit angeordnet. Herkömmlicherweise werden Kältemittelverdampfer stehend angeordnet, da ansonsten Probleme beim Kühlungsprozess auftreten können. Im Ausführungsbeispiel gemäß vorliegender Erfindung durchströmen die Abwärme und das Kältemittel den Kältemittelverdampfer von unten nach oben.

**[0023]** Insbesondere ist die Vorwärmeinheit horizontal liegend in einer Ebene oberhalb der Verdampfungseinheit angeordnet. Der Kältemittelverdampfer weist somit die Form einer um 90° nach links umgekippten, liegenden

Zahl Eins auf. Das Kältemittel durchströmt die Verdampfungseinheit nach oben gerichtet. Der zweistufige Aufbau des Kältemittelverdampfers ermöglicht eine kompakte, platzsparende Bauweise der Gesamtvorrichtung.

Da die Vorwärmeinheit und die Verdampfungseinheit nicht übereinander, sondern weitgehend nebeneinander angeordnet sind, und da insbesondere die Vorwärmeinheit liegend angeordnet ist, kann die Höhe des Kältemittelverdampfers wesentlich reduziert werden. Weiterhin erlaubt der zweistufige Aufbau auch eine abgestufte Erwärmung des Kältemittels, insbesondere ein Vorwärmen auf eine Temperatur unterhalb der Verdampfungstemperatur und ein anschließendes Verdampfen in der Verdampfungseinheit. Aufgrund der Abstufung des Erwärmungs- und Verdampfungsprozesses, kann dieser Prozess auch besser überwacht und gesteuert werden.

**[0024]** Die anfängliche Verdichtung des Kältemittels erfolgt beispielsweise über eine Hochdruck-Kreiselpumpe. Hierbei kann es sich insbesondere um eine zweistufige Pumpe handeln, um die gewünschte hohe Verdichtung einfach und sicher erzielen zu können. Insbesondere wird das Kältemittel in einer ersten Pumpstufe um einen Faktor von ca. 3 bis 5 verdichtet und in einer zweiten Pumpstufe erneut um einen Faktor von ca. 3 bis 5 verdichtet, so dass insgesamt eine Verdichtung um einen Faktor 9 bis 25 erzielt werden kann.

**[0025]** Bei der Turbine handelt es sich vorzugsweise um eine Turboexpansionsmaschine, die geeignet ist, den hoch verdichteten und erhitzten Kältemittel- Dampf wieder auf seinen Kondensationsdruck von ca. 1 bar bis 1,6 bar zu entspannen.

**[0026]** Der Vorrichtung kann weiterhin eine Steuerungseinheit zugeordnet sein, die es ermöglicht, jeden einzelnen Prozessschritt gezielt anzusteuern und / oder zu regulieren. Beispielsweise kann die Steuerungseinheit die Pumpe zur Verdichtung des Kältemittels regulieren und somit die gewünschte Verdichtung des Kältemittels gezielt einstellen.

**[0027]** Weiterhin kann die Steuerungseinheit mit einem Temperatursensor o.ä. verbunden sein, der die Temperatur des Kältemittels in der Vorwärmeinheit überwacht. Es kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die Steuerungseinheit mit einem Stellmittel gekoppelt ist und über diese die Zufuhr von Abwärme in die Vorwärmeinheit entsprechend reguliert, um die gewünschte Austrittstemperatur des Kältemittels aus der Vorwärmeinheit einzustellen. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass die Austrittstemperatur des Kältemittels aus der Vorwärmeinheit unterhalb der Verdampfungstemperatur des Kältemittels liegt, um sicherzustellen, dass das Kältemittel erst in der Verdampfungseinheit kontrolliert in den gasförmigen Aggregationszustand überführt wird und dabei seinen hohen Druck beibehält. Die Steuerungseinheit kann mit weiteren entsprechenden Sensoren und / oder Regulierungsmitteln gekoppelt sein, um die einzelnen Prozessschritte gezielt zu überwachen und / oder anzusteuern.

**[0028]** Der Leistungsbereich der beanspruchten Vor-

richtung liegt vorzugsweise in einem Leistungsbereich zwischen 20 bis 50 kWel, dies entspricht einer Abwärmeleistung von BHKWs in einem Bereich zwischen 200 bis 500 kWel. Der angegebene Leistungsbereich kann aber je nach Bedarf angepasst werden und soll die vorliegende Erfindung nicht einschränken. Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren werden vorzugsweise bei Abgas- bzw. Abwärmetemperaturen von mehr als 200 °C eingesetzt.

**[0029]** Mit der als Verdampfungseinheit und als Vorwärmeinheit zweiteilig aufgebauten Kältemittelverdampfungseinheit kann die Temperatur der Abwärme auf einfache, kostengünstige, platzsparende und elegante Weise stark reduziert werden. Insbesondere kann die Temperatur der Abwärme von ca. 500 °C auf 120 °C bis 170 °C reduziert werden. Im Gegensatz zu herkömmlich bekannten Vorrichtungen ist somit keine zusätzliche teure Kühlung der Abwärme notwendig, bevor diese in den Kamin eingeleitet werden kann.

#### Figurenbeschreibung

**[0030]** Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern. Die Größenverhältnisse der einzelnen Elemente zueinander in den Figuren entsprechen nicht immer den realen Größenverhältnissen, da einige Formen vereinfacht und andere Formen zur besseren Veranschaulichung vergrößert im Verhältnis zu anderen Elementen dargestellt sind.

Figur 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur Verwertung der Abwärme von Abgasen.

Figur 2 und Figur 3 zeigen jeweils den Weg der Abwärme A innerhalb einer Vorrichtung gemäß Figur 1.

Figur 4 und Figur 5 zeigen jeweils den Kreislauf des Kältemittels innerhalb einer Vorrichtung gemäß Figur 1.

Figur 6 zeigt eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

**[0031]** Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren dargestellt, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind. Die dargestellten Ausführungsformen stellen lediglich Beispiele dar, wie die erfindungsgemäße Vorrichtung oder das erfindungsgemäße Verfahren ausgestaltet sein können und stellen keine abschließende Begrenzung dar.

**[0032]** **Figur 1** zeigt eine Vorrichtung 10 zur Verwertung der Abwärme A aus einem Blockheizkraftwerk 1 oder einer Biogasanlage 2. **Figur 2** und **Figur 3** stellen jeweils den Weg 10A der Abwärme A aus dem BHKW 1 oder der Biogasanlage 2 innerhalb der Vorrichtung 10

dar und **Figur 4** und **Figur 5** stellen jeweils den Kreislauf 10c des Kältemittels C innerhalb der Vorrichtung 10 dar.

**[0033]** Die heiße Abwärme A wird über einen Bypass auf eine Vorrichtung 10 zur Verwertung der Abwärme A umgelenkt. Dort durchströmt es zuerst einen Verdampfer 11, wobei die Abwärme A von einer Eingangstemperatur  $T_{A1}$  von ca. 500°C auf eine Ausgangstemperatur  $T_{A2}$  von ca. 300°C herunter gekühlt wird. Anschließend wird die Abwärme A über einen Vorwärmer 12 für das Kältemittel C geleitet und hierbei von einer Eingangstemperatur  $T_{A3}$  von ca. 300°C auf die Eintrittstemperatur  $T_{A4}$ ,  $T_K$  von ca. 120°C bis 170°C des Kamins herunter gekühlt.

**[0034]** Das Kältemittel C wird einem Kältemittelspeicher 15 entnommen. Im Kältemittelspeicher 15 liegt die Temperatur  $T_{C1}$  des Kältemittels C entsprechend dem Kondensationsdruck  $p_{C1}$  von ca. 1 bis 1,6 bar (abhängig von der Außentemperatur) in einem Bereich von ca. 30 °C bis 60 °C. Das Kältemittel C liegt unter diesen Bedingungen in einem flüssigen Aggregatzustand vor. Mithilfe einer Hochdruck-Kreiselpumpe 16 wird das Kältemittel C auf einen Druck  $p_{C2}$  von ca. 25bar verdichtet und gefördert. Das Kältemittel C durchfließt einen Rekuperator 17 und wird hierbei auf eine Temperatur  $T_{C4}$  von ca. 100°C bis 120°C erwärmt. Anschließend tritt es in den Vorwärmer 12 ein und wird beim Durchlaufen des Vorwärmers 12 durch bereits etwas abgekühlte Abwärme A auf eine Temperatur  $T_{C6}$  von ca. 160°C erwärmt. Das Kältemittel C weist bei einem Druck von ca. 25 bar vorzugsweise eine Verdampfungstemperatur von ca. 170°C auf. Nach Durchströmen des Vorwärmers 12 liegt die Temperatur  $T_{C6}$  des Kältemittels C somit noch ca. 10K bzw. 10°C unterhalb seiner Verdampfungstemperatur.

**[0035]** Anschließend wird das ca. 160°C heiße und auf ca. 25 bar verdichtete Kältemittel C durch den Verdampfer 11 geleitet, wo es sich auf eine Temperatur  $T_{C7}$  von ca. 180°C aufheizt und dabei verdampft. Das verdampfte Kältemittel Cg wird zu einer Turbine 18 geleitet. In der Turbine 18 entspannt sich der Kältemittel- Dampf Cg auf einen Kältemitteldruck  $p_{C9}$  zwischen 1 bar bis 1,6 bar. Die dabei freiwerdende Energie wird verwendet, um einen Generator 19 anzutreiben und Strom zu erzeugen. Die Turbine 18 und der Generator 19 sind vorzugsweise so angeordnet, dass sie eine kompakte Einheit bilden. Insbesondere sind die Turbine 18 und der Generator 19 in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

**[0036]** Der entspannte Kältemittel- Dampf Cg tritt mit einer Temperatur  $T_{C9}$  von 120-130°C und einem Druck  $p_{C9}$  von ca. 1 bar bis 1,6 bar aus der Turbine 18 aus und wird in den Rekuperator 17 geleitet. Dort wird der Kältemittel- Dampf Cg auf eine Temperatur  $T_{C3}$  von ca. 30°C bis 60°C herunter gekühlt. Insbesondere wird der Kältemittel- Dampf Cg auf ca. 10K über seiner Kondensationstemperatur herunter gekühlt und anschließend zum Kondensator 20 weiter geleitet. Im Kondensator 20 wird der Kältemittel- Dampf Cg verflüssigt und um weitere 5K herunter gekühlt, indem Außenluft mithilfe eines Ventilators 21 über Wärmetauschrohre 22 des Kondensators 20 strömt. Das wieder verflüssigte Kältemittel C wird im

Kältemittelspeicher 15 gesammelt und über die Arbeitsmittelpumpe 16 dem Kreislauf erneut zugeführt.

**[0037]** **Figur 6** zeigt eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 zur Nutzung von Abwärme A. Die Vorrichtung 10 umfasst insbesondere einen Kältemittelspeicher 15, eine Pumpvorrichtung 16, einen Kältemittelverdampfer 5, eine Turbine 18 und einen Generator 19, einen Regenerator 17 sowie einen Kondensator für das Kältemittel (nicht dargestellt). Vorzugsweise wird als Turbine 18 eine Turboexpansionsmaschine verwendet, die geeignet ist, den hoch verdichteten und erhitzten Kältemittel- Dampf wieder auf seinen Kondensationsdruck von ca. 1 bar bis 1,6 bar zu entspannen und dadurch den Generator 19 anzutreiben. Die Turbine 18 und der Generator 19 sind vorzugsweise platzsparend in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet.

**[0038]** Bei der Pumpvorrichtung 16 für das Kältemittel handelt es sich insbesondere um mindestens eine Hochdruck- Kreiselpumpe. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden zwei hintereinander geschaltete Hochdruck- Kreiselpumpen 16a und 16 b verwendet. Mit der ersten Hochdruck- Kreiselpumpe 16a wird das Kältemittel auf einen Druck von ca. 6 bar bis 10 bar verdichtet. Das vorverdichtete Kältemittel wird dann in der zweiten Hochdruck- Kreiselpumpe 16b auf den Arbeitsdruck von ca. 25 bar verdichtet.

**[0039]** Der Kältemittelverdampfer 5 ist zweistufig aufgebaut und besteht aus einem horizontal liegenden Vorwärmer 12 und einem Verdampfer 11, der in einem Winkel von in etwa 45° zum Vorwärmer 12 angeordnet ist. Wie in den Figuren 6 bis 9 deutlich erkennbar ist, zeigt der Kältemittelverdampfer 5 somit die Form einer umgekippten Zahl Eins, wobei der normalerweise lange senkrechte Strich durch den horizontal in einer oberen Ebene angeordneten Vorwärmer 12 gebildet wird und die normalerweise nach links unten abgeknickte Schräge durch den Verdampfer 11 gebildet wird. Der Kältemittelverdampfer 5 ist somit besonders kompakt und platzsparend ausgeführt, so dass die gesamte Vorrichtung 10 einen besonders kompakten Aufbau aufweist. Das Kältemittel durchströmt zuerst den Vorwärmer 12 in einer ersten weitgehend horizontalen Bewegungsrichtung, gegenläufig zur Bewegungsrichtung der Abwärme A. Anschließend wird das Kältemittel C so umgeleitet, dass es gleichgerichtet mit der Abwärme A den Verdampfer 11 in einer schräg nach oben gerichteten zweiten Bewegungsrichtung durchströmt.

**[0040]** Die Vorrichtung 10 umfasst weiterhin einen Schaltschrank 25. Dieser enthält die gesamte Steuerung für die Vorrichtung. Insbesondere werden über die Steuerung die einzelnen Prozessschritte kontrolliert und reguliert.

**[0041]** Die Erfindung wurde unter Bezugnahme auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch für einen Fachmann vorstellbar, dass Abwandlungen oder Änderungen der Erfindung gemacht werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

## Bezugszeichenliste

### [0042]

5	1	BHKW (Blockheizkraftwerk)
	2	Biogasanlage
	5	Kältemittelverdampfer
	10	Vorrichtung zur Nutzung von Abgas- Abwärme
	10A	Weg des Abgases
10	10c	Kältemittelkreislauf
	11	Verdampfer
	12	Vorwärmer
	15	Kältemittelspeicher
	16	Pumpe
15	17	Rekuperator
	18	Turbine
	19	Generator
	20	Kondensator
	21	Ventilator
20	22	Wärmetauschröhre
	25	Schaltschrank
	A	Abgas
	C	Kältemittel
25	Cg	Kältemittel- Dampf
	pc	Kältemitteldruck
	T <sub>A</sub>	Abgas- Temperatur
	T <sub>C</sub>	Kältemittel - Temperatur
	T <sub>K</sub>	Kamin- Temperatur

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme (A), wobei die Abwärme (A) eine Temperatur (T<sub>A</sub>) von  $\geq 200^{\circ}\text{C}$  aufweist und eine Kältemittelverdampfungseinheit (5) bestehend aus einem ersten Wärmetauscher, insbesondere einer Verdampfungseinheit (11), und einem zweiten Wärmetauscher, insbesondere einer Vorwärmeinheit (12), durchströmt, wobei
  - das verwendete Kältemittel (C) zuerst um einen Faktor 15 bis 25 verdichtet wird;
  - das hoch komprimierte Kältemittel (C) durch einen Rekuperator (17) geleitet und dabei grunderwärmt wird,
  - das hoch komprimierte, grunderwärmte Kältemittel (C) durch den zweiten Wärmetauscher geleitet und dabei vorgewärmt wird;
  - das hoch komprimierte und vorgewärmte Kältemittel (C) durch den ersten Wärmetauscher geleitet, dabei weiter erhitzt und zu Kältemittel-Dampf (Cg) verdampft wird;
  - wobei der erhitzte Kältemittel- Dampf (Cg) anschließend in einer Turbine (18) entspannt wird und
  - wobei die dabei freigesetzte Energie verwen-

det wird, um einen Generator (19) anzutreiben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei

- das Kältemittel (C) einen Kondensationsdruck zwischen 1 bis 1,6 bar aufweist; 5
- das Kältemittel (C) mittels einer Kältemittelpumpe (16) auf einen Druck ( $p_{C2}$ ) von ca. 25 bar verdichtet wird,
- das auf ca. 25 bar komprimierte Kältemittel (C) durch einen Rekuperator (17) geleitet und dabei auf eine Temperatur ( $T_{C4}$ ) von ca. 100 °C bis 120 °C grunderwärmt wird, 10
- das hoch komprimierte Kältemittel (C) durch den als Vorwärmeinheit (12) ausgebildeten zweiten Wärmetauscher geleitet und dabei auf eine Vorwärmtemperatur ( $T_{C6}$ ) von ca. 160°C erwärmt wird; 15
- das hoch komprimierte und vorgewärmte Kältemittel (C) durch den als Verdampfungseinheit (11) ausgebildeten ersten Wärmetauscher geleitet, dabei auf eine Verdampfungstemperatur ca. 180°C ( $T_{C7}$ ) erhitzt und zu Kältemitteldampf (Cg) verdampft wird; 20
- wobei der erhitzte Kältemitteldampf (Cg) anschließend in einer als Turboexpansionsmaschine ausgebildeten Turbine(18) auf den Kondensationsdruck ( $p_{C9}$ ) zwischen 1 bis 1,6 bar entspannt wird und 25
- wobei die dabei freigesetzte Energie verwendet wird, um einen Generator (19) anzutreiben. 30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der aus der Turbine (18) austretende und entspannte Kältemitteldampf (Cg) eine Temperatur ( $T_{C9}$ ) von ca. 120°C bis 130°C aufweist, wobei der Kältemitteldampf (Cg) zum Rekuperator (17) geleitet wird und wobei die Temperatur ( $T_{C9}$ ) des heißen und entspannten Kältemitteldampfs (Cg) verwendet wird, um kaltes, flüssiges, hoch komprimiertes Kältemittel (C) von einer Temperatur ( $T_{C3}$ ) von ca. 30°C bis 60 °C auf eine Grundwärme ( $T_{C4}$ ) von ca. 100°C bis 120°C vorzuwärmen 40

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die zu nutzende Abwärme (A) die Verdampfungseinheit (11) gleichsinnig zur Bewegungsrichtung des Kältemittels (C) durchströmt und die Vorwärmeinheit (12) gegenläufig zur Bewegungsrichtung des Kältemittels (C) durchströmt und wobei die Abwärme (A) in der Verdampfungseinheit (11) um ca. 200K abgekühlt wird, insbesondere wobei die in die Verdampfungseinheit (11) eingeleitete Abwärme (A) eine Eingangstemperatur ( $T_{A1}$ ) von ca. 500°C und eine Ausgangstemperatur ( $T_{A2}$ ) von ca. 300°C aufweist, und wobei die Abwärme (A) anschließend in der Vorwärmeinheit (12) um ca. 130K bis 180K abgekühlt wird, insbesondere wobei die in die Vorwärmeinheit (12) 50

weitergeleitete Abwärme (A) eine Eingangstemperatur ( $T_{A3}$ ) von ca. 300°C und eine Ausgangstemperatur ( $T_{A4}$ ) von ca. 120°C bis ca. 170°C aufweist, die in etwa der Eintrittstemperatur des Kamins ( $T_K$ ) entspricht.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei als Kältemittel (C) eine azeotrope Mischung auf der Basis von Perfluorpolyether (PFPE) eingesetzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die als Kältemittel (C) verwendete azeotrope Mischung Pentafluorbutan umfasst.

7. Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme (A) mit einem Kältemittelspeicher (15), einer Kältemittelpumpe (16), einem Rekuperator (17), einer Kältemittelverdampfungseinheit (5), einer Turbine (18) und einem Generator (19), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kältemittelverdampfungseinheit (5) zweistufig aufgebaut ist und aus einem ersten Wärmetauscher und einem zweiten Wärmetauscher, insbesondere aus einer Verdampfungseinheit (11) und einer Vorwärmeinheit (12), besteht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Vorwärmeinheit (12) horizontal liegend angeordnet ist und wobei die Verdampfungseinheit (11) in einem Winkel von ca. 45°C zur Vorwärmeinheit (12) angeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Vorwärmeinheit (12) horizontal liegend in einer Ebene oberhalb der Verdampfungseinheit (11) angeordnet ist und wobei die Verdampfungseinheit (11) in einem Winkel von ca. 45 °C zur Vorwärmeinheit (12) angeordnet ist, so dass das Kältemittel (C) die Verdampfungseinheit (11) nach unten gerichtet durchströmt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Kältemittelpumpe (16) eine Hochdruck-Kreiselpumpe zur Verdichtung des Kältemittels (C) um einen Faktor 15 bis 25 ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Kältemittelpumpe (16) als ein- oder zweistufige Pumpe (16a, 16b) zur Verdichtung des Kältemittels (C) um einen Faktor 15 bis 25 ausgebildet ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei das Kältemittel (C) eine azeotrope Mischung auf der Basis von Perfluorpolyether (PFPE) ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei die als Kältemittel (C) verwendete azeotrope Mischung Pentafluorbutan umfasst.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 13, wobei die Turbine (18) eine Turboexpansionsmaschine ist, durch die der hoch verdichtete und erhitzte Kältemittel-Dampf (Cg) auf einen Druck zwischen 1 bar bis 2 bar, vorzugsweise zwischen 1 bar bis 1,6 bar, entspannbar ist 5
15. Vorrichtung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme (A) nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

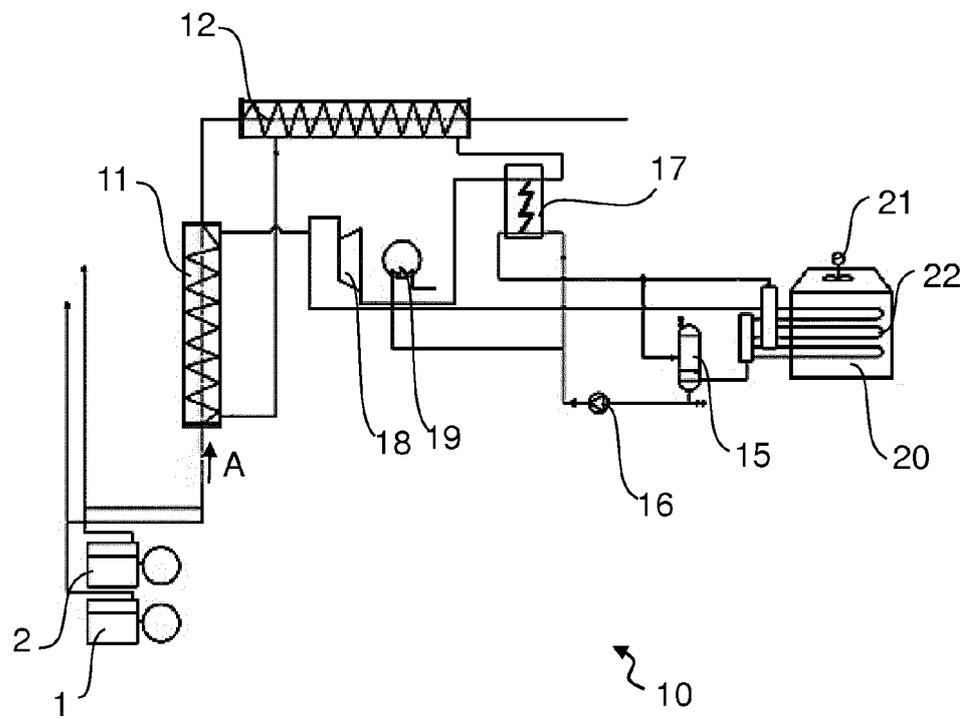


Fig. 2

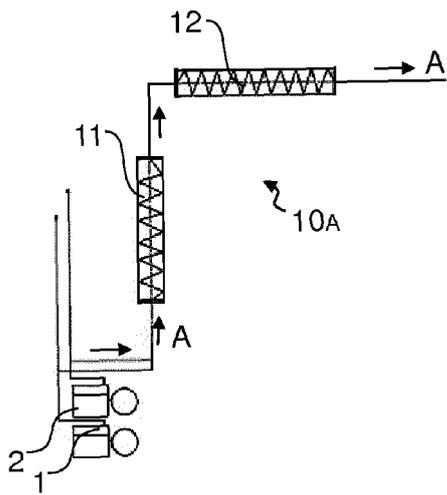


Fig. 3

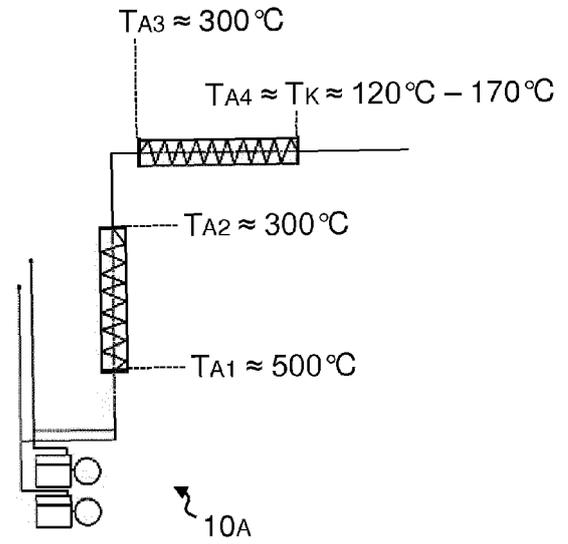


Fig. 4

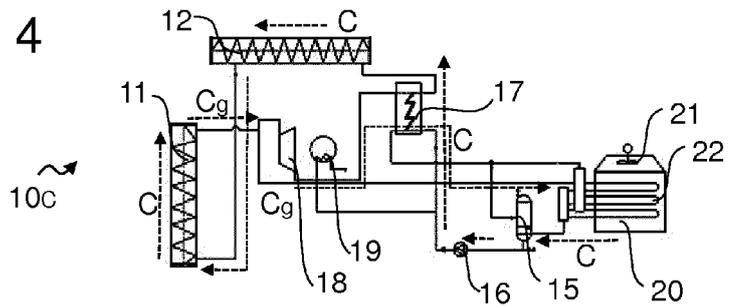


Fig. 5

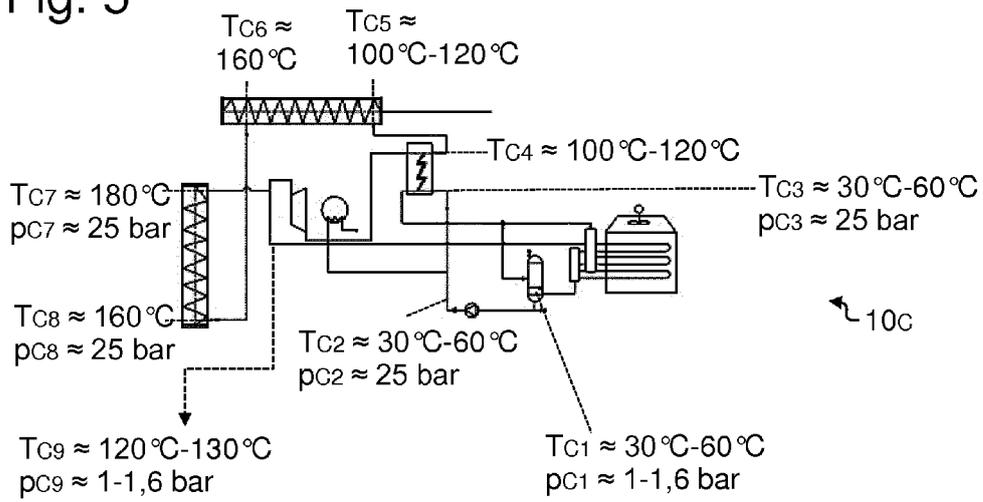
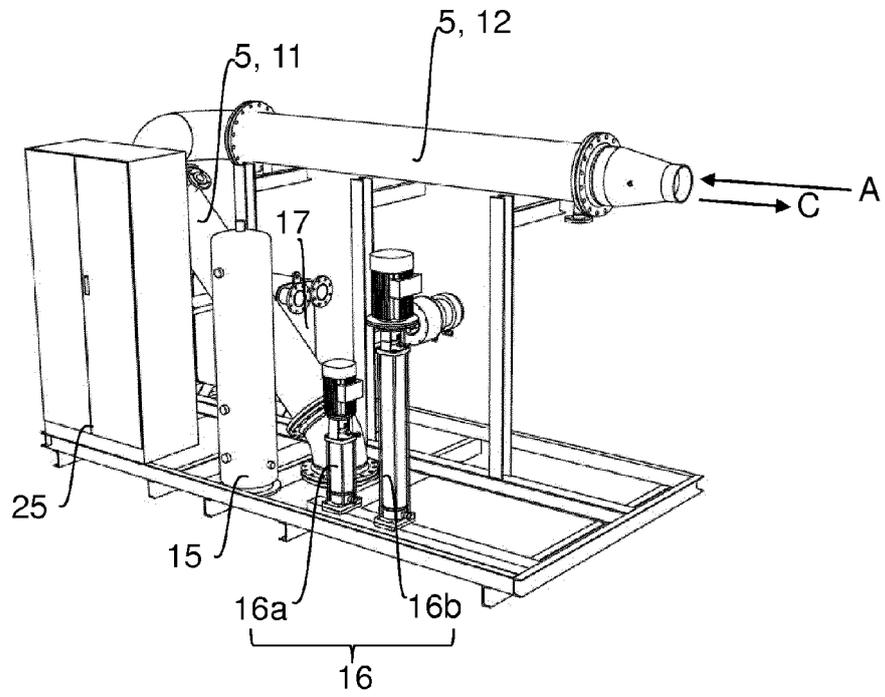


Fig. 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 19 4167

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2006 028746 A1 (MOTOREN UND KRAFTANLAGEN MBH G [DE] MOTOREN UND KRAFTANLAGEN MBH GES [ ] 27. Dezember 2007 (2007-12-27)	1,2,7, 10,11, 14,15	INV. F01K13/00 F01K25/06
Y	* Absätze [0025] - [028,]; Abbildung 1 * * Absätze [0039] - [0042] * -----	5,6,12, 13	
X	WO 2011/073469 A1 (ANDALUZA DE SIST S Y CONTROL ENERGETICO S L [ES]) 23. Juni 2011 (2011-06-23) * Seite 8, Zeile 30 - Seite 11, Zeile 4; Abbildung 1 *	7	
X,D	US 2008/115922 A1 (HOREK JON [US] ET AL) 22. Mai 2008 (2008-05-22) * das ganze Dokument *	7,8,10, 14,15	
Y	WO 2008/061271 A1 (MAHLE KOENIG KOMMANDITGESELLSC [AT]; LANGNER KARLHEINZ [AT]; MAETHNER) 29. Mai 2008 (2008-05-29) * Pentafluorbutan; Seite 9, Zeile 30 - Seite 9, Zeile 36; Abbildung 1 * -----	5,6,12, 13	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 29. April 2013	Prüfer Röberg, Andreas
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 : nichtschriftliche 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	

2  
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 12 19 4167

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.

29-04-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102006028746 A1	27-12-2007	KEINE	
-----			
WO 2011073469 A1	23-06-2011	ES 2371607 A1	05-01-2012
		WO 2011073469 A1	23-06-2011
-----			
US 2008115922 A1	22-05-2008	US 2008115922 A1	22-05-2008
		US 2012285167 A1	15-11-2012
-----			
WO 2008061271 A1	29-05-2008	AT 504563 A1	15-06-2008
		EP 2087210 A1	12-08-2009
		WO 2008061271 A1	29-05-2008
-----			

EPO FORM P0461

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

**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**

- DE 102007062085 A1 [0003]
- DE 102009049476 A1 [0004]
- US 20120131918 A1 [0005]
- US 20080115922 A1 [0006]
- US 4334409 A [0007]
- WO 2012064477 A2 [0008]