

(19)



(11)

**EP 2 469 047 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:

**27.06.2012 Patentblatt 2012/26**

(51) Int Cl.:

**F01K 25/10** <sup>(2006.01)</sup>**F01K 13/02** <sup>(2006.01)</sup>**F01D 17/08** <sup>(2006.01)</sup>(21) Anmeldenummer: **10016063.9**(22) Anmeldetag: **23.12.2010**

(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**

(71) Anmelder:

- **Orcan Energy GmbH**  
**81379 München (DE)**
- **Technische Universität München**  
**80333 München (DE)**

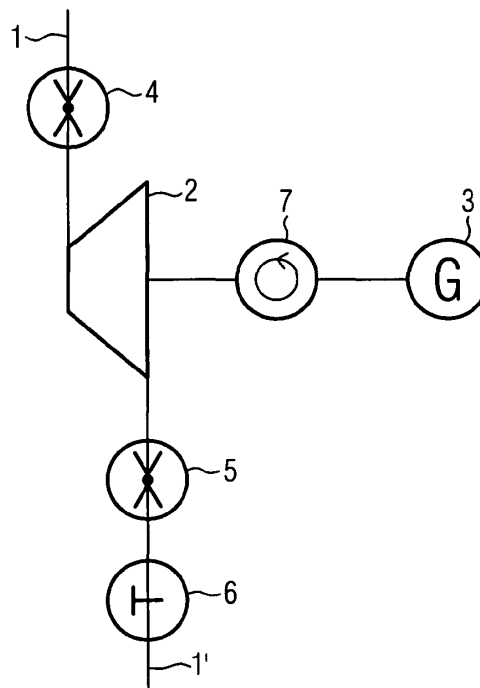
(72) Erfinder:

- **Aumann, Richard**  
**85747 Garching (DE)**
- **Schuster, Andreas**  
**85747 Garching (DE)**
- **Sichert, Andreas**  
**85747 Garching (DE)**

(74) Vertreter: **Grünecker, Kinkeldey,****Stockmair & Schwanhäusser**  
**Leopoldstrasse 4**  
**80802 München (DE)****(54) Frischdampfbestimmung einer Expansionsmaschine**

(57) Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Steuerung oder Regelung und/oder Überwachung einer Vorrichtung mit einer Expansionsmaschine, der Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird, mit den Schritten zur Verfügung: Bestimmen zumindest eines physikalischen Parameters des Abdampfes; Be-

stimmen zumindest eines physikalischen Parameters des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes; und Steuern oder Regeln und/oder Überwachen der Vorrichtung auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes. Ebenso wird ein Wärmekraftwerk zur Verfügung gestellt, in dem das Verfahren realisiert ist.

**FIG. 1****EP 2 469 047 A1**

## Beschreibung

### Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft die Steuerung oder Regelung und/oder Überwachung einer Vorrichtung mit einer Expansionsmaschine, der Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird.

### Stand der Technik

**[0002]** Der Betrieb von Expansionsmaschinen, wie z.B. Dampfturbinen und mit Hilfe des Organic Rankine Cycle (ORC)-Verfahrens zur Erzeugung elektrischer Energie durch den Einsatz organischer Medien, beispielsweise organischer Medien mit niedriger Verdampfungstemperatur, die bei gleichen Temperaturen verglichen mit Wasser als Arbeitsmedium im allgemeinen höhere Verdampfungsdrücke aufweisen, ist im Stand der Technik bekannt. ORC-Anlagen stellen eine Realisierung des Clausius-Rankine-Kreisprozesses dar, in dem beispielsweise prinzipiell über adiabatische und isobare Zustandsänderungen eines Arbeitsmediums elektrische Energie gewonnen wird. Über Verdampfung, Expansion und anschließende Kondensation des Arbeitsmediums wird hierbei mechanische Energie gewonnen und in elektrische Energie gewandelt. Prinzipiell wird das Arbeitsmedium durch eine Speisepumpe auf Betriebsdruck gebracht, und es wird ihm in einem Wärmeübertrager Energie in Form von Wärme, die durch eine Verbrennung oder einen Abwärmestrom zur Verfügung gestellt wird, zugeführt. Vom Verdampfer aus strömt das Arbeitsmedium über ein Druckrohr zu einer ORC-Turbine, wo es auf einen niedrigeren Druck entspannt wird. Im Anschluss strömt der entspannte Arbeitsmediumsdampf durch einen Kondensator, in dem ein Wärmeaustausch zwischen dem dampfförmigen Arbeitsmedium und einem Kühlmedium stattfindet, wonach das auskondensierte Arbeitsmedium durch eine Speisepumpe zu dem Verdampfer in einem Kreisprozess zurückgeführt wird.

**[0003]** Die genaue Überwachung und Steuerung der Expansionsmaschine ist für den effizienten Betrieb unerlässlich und stellt, je nach Arbeitsmedium und thermodynamischen Parametern desselben, eine besondere Herausforderung dar. Hierbei ist die Bestimmung der physikalischen Parameter des der Expansionsmaschine zugeführten Frischdampfes des Arbeitsmediums von besonderer Bedeutung. Herkömmlich werden die Frischdampfparameter, wie die Frischdampfentropie und Frischdampfenthalpie, als Funktionen der ermittelten Temperatur und/oder des ermittelten Drucks des Frischdampfes bestimmt. Bei ORC-Anlagen kann es jedoch hinsichtlich ihres Wirkungsgrads vorteilhaft sein, dass zu Beginn der Entspannung des Arbeitsmediums in der Expansionsmaschine dieses Medium in einem Zwei-Phasen-Zustand vorliegt.

**[0004]** Wenn das Arbeitsmedium im Wärmeübertrager

nur teilweise verdampft wird, lässt sich die Enthalpie nicht direkt aus dem Druck und der Temperatur des teilweise verdampften Arbeitsmediums ermitteln, weil im Nassdampfgebiet die Frischdampfenthalpie und -entropie neben Druck und / oder Temperatur auch vom Dampfgehalt abhängig ist.

**[0005]** Der Dampfgehalt lässt sich jedoch nicht ohne weiteres bestimmen. Wird andererseits die Expansionsmaschine mit einem Arbeitsmedium im überkritischen Bereich nahe dem kritischen Punkt, in dessen Umgebung sich die Dichte von Dampf und Flüssigkeit bei gleicher Temperatur asymptotisch annähern, betrieben, können die Frischdampfparameter nur mit großen Ungenauigkeiten aus Druck und/oder Temperatur bestimmt werden, da die Isobaren an dem kritischen Punkt annähernd horizontal verlaufen. In der Umgebung des kritischen Punkts führen bereits sehr kleine Temperaturänderungen zu sehr großen Enthalpie- und Entropieänderungen.

**[0006]** Es besteht somit ein Bedarf dafür und es liegt somit der vorliegenden Erfindung als Aufgabe zugrunde, die Steuerung oder Regelung bzw. Überwachung einer Expansionsmaschine, die mit einem zweiphasigen Arbeitsmedium beaufschlagt wird, auf eine verlässliche Weise derart zu steuern oder regeln, dass die oben genannten Probleme überwunden werden können.

### Beschreibung der Erfindung

**[0007]** Die oben genannte Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren zur Steuerung oder Regelung und/oder Überwachung einer Vorrichtung mit einer Expansionsmaschine gemäß Anspruch 1, wobei der Expansionsmaschine der Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

Bestimmen zumindest eines physikalischen Parameters des Abdampfes;

Bestimmen zumindest eines physikalischen Parameters des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes; und

**[0008]** Steuern oder Regeln und/oder Überwachen der Vorrichtung auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes. Es liegt eine Besonderheit der vorliegenden Erfindung darin, dass Parameter (Größen), die für den Abdampf gewonnen werden, benutzt werden, um Parameter (Größen) des Frischdampfes zu bestimmen, die für die Steuerung/Regelung oder Überwachung der Vorrichtung von Belang sind. Hierdurch werden die oben genannten Probleme der technisch nicht möglichen oder ungenauen Bestimmung der Frischdampfparameter auf Grundlage von Temperatur und Druck, besonders im Nassdampfgebiet oder bei überkritischen Dampfpara-

metern, umgangen bzw. vermieden.

**[0009]** Die Vorrichtung kann insbesondere Mittel zur Zuführung des Frischdampfes zur Expansionsmaschine umfassen und die Regelung/Steuerung/Überwachung kann insbesondere die Regelung/Steuerung/Überwachung des Frischdampfes zur Expansionsmaschine umfassen. Die Vorrichtung kann insbesondere Bestandteil eines Dampfkraftwerks oder ein Dampfkraftwerk sein, in dem das Arbeitsmedium nach Passieren eines Verdampfers der Expansionsmaschine, die insbesondere eine Turbine sein kann, zugeführt wird. Beispielsweise kann das die Vorrichtung den Verdampfer sowie Zuführeinrichtungen zu dem Verdampfer und zu der Expansionsmaschine umfassen.

**[0010]** Die Vorrichtung kann weiterhin einen Kondensator zum Verflüssigen des Abdampfes und eine Speisepumpe zum Zuführen des verflüssigten Arbeitsmediums zu dem Verdampfer umfassen. Die Steuerung/Regelung kann sich also insgesamt auf die Steuerung/Regelung des Transports des Arbeitsmediums in der Vorrichtung beziehen, wobei insbesondere die Massenstromrate des Arbeitsmediums, beispielsweise durch entsprechende Steuerung der Speisepumpe, gesteuert/geregelt werden kann. Ebenso kann der Betrieb der Expansionsmaschine und/oder des Verdampfers gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes gesteuert/geregelt werden.

**[0011]** Bei dem Arbeitsmedium kann es sich insbesondere um ein organisches Medium handeln, dass im Rahmen eines Organic Rankine Cycle (ORC) - Prozesses in einem Verdampfer verdampft wird und dann der Expansionsmaschine zugeführt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist für ORC-Anlagen von besonderer Bedeutung, da hier das Arbeitsmedium vorteilhafterweise der Expansionsmaschine zweiphasig oder insbesondere im überkritischen Bereich, jedoch nahe dem kritischen Punkt, in dessen Umgebung sich die Dichte der flüssigen Phase und des gasförmigen Phase des Arbeitsmediums asymptotisch annähern, zugeführt wird.

**[0012]** Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der isentrope Wirkungsgrad der Expansionsmaschine bestimmt und das Bestimmen des zumindest einen physikalischen Parameters des Frischdampfes erfolgt auf der Grundlage des bestimmten Wirkungsgrads der Expansionsmaschine, d.h. nach Bestimmung (beispielsweise Messung) von Parametern des Abdampfes kann bei Kenntnis des bestimmten Wirkungsgrads der Expansionsmaschine auf für die Steuerung/Regelung/Überwachung relevante Parameter geschlossen werden. Es wird also aus dem Abdampf-Zustand der Frischdampfzustand bestimmt. Hierbei wird der isentrope Wirkungsgrad der Expansionsmaschine benötigt. Da dieser jedoch von Frischdampf- und Abdampfzustand abhängt, muss iterativ vorgegangen werden.

**[0013]** In diesem Zusammenhang kann das Verfahren den Schritt des Bestimmens des an der Expansionsma-

schine anliegenden Druckverhältnisses des Arbeitsmediums und des Massenstroms des Arbeitsmediums umfassen. In diesem Fall erfolgt das Bestimmen des isentropen Wirkungsgrads der Expansionsmaschine auf der Grundlage des bestimmten anliegenden Druckverhältnisses des Arbeitsmediums und Massenstroms des Arbeitsmediums. Je nach Ausbildung der Expansionsmaschine kann der isentrope Wirkungsgrad von der Drehzahl der Expansionsmaschine abhängen. Somit kann das Verfahren weiterhin den Schritt des Bestimmens der Drehzahl der Expansionsmaschine umfassen, und in diesem Fall erfolgt das Bestimmen des isentropen Wirkungsgrads der Expansionsmaschine auf der Grundlage der bestimmten Drehzahl der Expansionsmaschine. Das ist besonders vorteilhaft, wenn es sich bei der Expansionsmaschine um eine Kolbenexpansionsmaschine, einen Scrollexpander oder einen Schraubenexpander handelt.

**[0014]** In jedem der genannten Beispiele kann das Verfahren das Modellieren des Betriebs der Expansionsmaschine mit dem Arbeitsmedium auf der Grundlage thermodynamischer Gleichungen und empirisch bestimmter Parametergrößen umfassen und der Wirkungsgrad der Expansionsmaschine auf der Grundlage des Ergebnisses des Modellierens des Betriebs der Expansionsmaschine bestimmt werden.

**[0015]** Der zumindest eine bestimmte physikalische Parameter des Frischdampfes, der für die Steuerung/Regelung/Überwachung der Vorrichtung verwendet wird, kann die Temperatur und/oder (spezifische) Enthalpie und/oder (spezifische) Entropie und/oder das Volumenverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase und/oder das Dichteverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase des Frischdampfes umfassen. Insbesondere kann auf den Dampfgehalt als Quotient aus Masse des Dampfanteils und Gesamtmasse und auf die Temperatur des Frischdampfes und mithilfe dieser auf die Entropie/Enthalpie desselben geschlossen werden. Somit werden für die Steuerung/Regelung/Überwachung besonders geeignete Parameter für den Frischdampf gewonnen.

**[0016]** Der zumindest eine bestimmte physikalische Parameter des Abdampfes kann die Temperatur und/oder den Druck desselben umfassen. Insbesondere kann der Schritt des Bestimmens der Temperatur des Frischdampfes auf der Grundlage der bestimmten Temperatur und des bestimmten Drucks des Abdampfes erfolgen.

**[0017]** Gemäß einer Weiterbildung umfasst das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt des Bestimmens (beispielsweise des Messens) des Drucks des Frischdampfes, der von dem zumindest einen auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes bestimmten physikalischen Parameter des Frischdampfes verschieden ist, und es wird der zumindest eine physikalische Parameter des Frischdampfes auf der Grundlage des (von diesem Parameter verschiedenen) bestimmten Drucks des Frischdampfes bestimmt.

**[0018]** Wie bereits erwähnt kann ein organisches Arbeitsmedium als das Arbeitsmedium bereitgestellt werden, und es kann die Expansionsmaschine im Rahmen eines Organic Rankine Cycle (ORC)-Verfahrens zur Erzeugung elektrischer Energie betrieben werden. Hierbei kann sich der Frischdampf des organischen Arbeitsmediums im überkritischen Zustand oder im Nassdampfgebiet befinden. Als Arbeitsmedien kommen sämtliche in herkömmlichen ORC-Anlagen verwendeten "trockenen Medien", wie R245fa, "nasse" Medien, wie Ethanol oder "isentropen Medien", wie R134a, in Frage. Ebenso können synthetische Arbeitsmedien auf Silikonbasis, wie GL160, Verwendung finden. Die Vorrichtung kann ein Dampfkraftwerk, insbesondere ein Organic Rankine Cycle - Dampfkraftwerk, oder ein Bestandteil desselben sein. Die ORC-Anlage selbst kann beispielsweise eine geothermische oder solarthermische Anlage sein oder auch die Verbrennung fossiler Brennstoffe als Wärmequelle aufweisen.

**[0019]** In den genannten obigen Beispielen können die Parameter des Abdampfes durch Messen an entsprechenden Messstellen der Vorrichtung bestimmt werden.

**[0020]** Weiterhin stellt die vorliegende Erfindung zur Lösung der oben genannten Aufgabe ein Wärmekraftwerk bereit, das umfasst: eine Expansionsmaschine, der Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird; und

eine Steuerung oder Regelung;

wobei

die Steuerung oder Regelung dazu ausgebildet ist,

zumindest einen physikalischen Parameter des Abdampfes zu bestimmen;

zumindest einen physikalischen Parameter des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes zu bestimmen; und

das Wärmekraftwerk auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes zu steuern oder regeln und/oder zu überwachen.

**[0021]** Sämtliche Spezifizierungen hinsichtlich des Arbeitsmediums und der Art der physikalischen Parameter sowie der Bestimmung derselben, wie sie in den obigen Beispielen für das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben sind, können in Weiterbildungen des Wärmekraftwerks realisiert sein. Insbesondere kann das Wärmekraftwerk ein ORC-Kraftwerk sein, in dem ein organisches Arbeitsmedium in einem Wärmeübertrager verdampft wird und dann der Expansionsmaschine zugeführt wird, um nach der Expansion durch einen Kondensator verflüssigt zu werden und im Rahmen eines ORC-Kreislaufes durch eine Speisepumpe dem Wärmeübertrager wieder zugeführt zu werden. Der Wärmeübertrager kann hierbei durch ein Rauchgas beaufschlagt werden, das beispielsweise durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht.

**[0022]** Weitere Merkmale und beispielhafte Ausführungsformen sowie Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es versteht sich, dass die Ausführungsformen nicht den Bereich der vorliegenden Erfindung erschöpfen. Es versteht sich weiterhin, dass einige oder sämtliche der im Weiteren beschriebenen Merkmale auch auf andere Weise miteinander kombiniert werden können.

**[0023]** Figur 1 stellt Messstellen zur Bestimmung von physikalischen Parametern dar, die zur Bestimmung hiervon verschiedener physikalischer Parameter des Frischdampfes gemäß einem Beispiel für das erfindungsgemäße Verfahren verwendet werden.

**[0024]** Figur 2 veranschaulicht die Modellierung einer Expansionsmaschine zur Bestimmung des Wirkungsgrads derselben und schließlich von Frischdampfparametern aus bestimmten Abdampfparametern gemäß einem Beispiel für das erfindungsgemäße Verfahren.

**[0025]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird zumindest ein physikalischer Parameter des Abdampfes bestimmt, um mit seiner Hilfe physikalische Parameter des Frischdampfes zu bestimmen. Wie es in Figur 1 gezeigt ist, werden gemäß einer Ausführungsform der Druck und die Temperatur des Abdampfes an Messstellen gemessen, oder aber als Information direkt aus der Leistungselektronik / MSR-Technik entnommen. Ein Arbeitsmedium wird in Form von Frischdampf 1 einer Expansionsmaschine 2, beispielsweise einer Turbine, zugeführt, und es wird die durch die Expansion des Frischdampfes des Arbeitsmediums gewonnenen mechanischen Energie durch einen Generator in elektrische Energie 3 gewandelt.

**[0026]** In Figur 1 sind zudem Messstellen zur Messung verschiedener Parameter gezeigt. Zum einen wird gemäß dem gezeigten Beispiel der Druck des Frischdampfes 1 an einer Frischdampfdruckmessstelle 4 gemessen. Die Abdampfdruckmessstelle 5 und die Abdampftemperaturmessstelle 6 stellen den Druck bzw. die Temperatur des expandierten Abdampfes 1' des Arbeitsmediums bereit. Zudem wird die Drehzahl der Expansionsmaschine an der Messstelle 7 gemessen. Aus den derart erhaltenen Messdaten können der isentrope Wirkungsgrad der Expansionsmaschine und zur Steuerung oder Regelung, beispielsweise der Zufuhr des Frischdampfes zur Expansionsmaschine, benötigte physikalische Parameter des Frischdampfes bestimmt werden. Beispielsweise können die Temperatur, die Enthalpie oder das Volumenverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase und/oder der Dampfgehalt (Quotient des Masse des Dampfanteils und der Gesamtmasse) oder auch das Dichteverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase des Frischdampfes mithilfe der an den Messstellen 4 bis 7 gemessenen Parameter bestimmt werden. Die Bestimmung der physikalischen Parameter des Frischdampfes erlaubt insbesondere die Steuerung oder Regelung des Massenstroms des Arbeitsmediums zu einem Wärmeübertrager (Verdampfer) derart, dass am Ende des Expansionsprozesses gerade noch Sattedampf erreicht wird.

**[0027]** In Figur 2 wird ein erfindungsgemäßes Beispiel

für die halb-empirische Modellierung einer Expansionsmaschine veranschaulicht, durch die die Bestimmung relevanter physikalischer Parameter des Frischdampfes ausgehend von der Bestimmung physikalischer Parameter des Abdampfes beispielhaft ermöglicht wird. Hierzu wird die Strömung des Arbeitsmediums durch die Expansionsmaschine in unterschiedliche Arten der Zustandsänderung desselben, die durch unterschiedliche Parameter bestimmt sind, unterteilt.

**[0028]** In dem gezeigten Beispiel kann die Expansionsmaschine mithilfe von sieben empirisch zu bestimmenden Parametern modelliert werden.

**[0029]** Zunächst erfolgt ein adiabatischer Druckverlust 10 des Frischdampfes (FD  $\rightarrow$  FD1) des Arbeitsmediums, das mit der Massenrate  $\dot{m}_{FD}$  geliefert wird, am Einlass der Expansionsmaschine. Dieser adiabatische Druckverlust 10 ist wesentlich durch den Einlassquerschnitt bestimmt, der somit als erster empirischer Parameter bei der Modellierung Verwendung findet. Gemäß der Wärmeübertragungskapazität des Frischdampfes als zweiten empirischen Parameter erfolgt eine isobare Abkühlung (FD1  $\rightarrow$  FD2) des Arbeitsmediums. Das Arbeitsmedium erfährt dann 20 in einer ersten Stufe A eine isentrope Expansion gemäß dem eingebauten Volumenverhältnis, das als dritter empirischer Parameter zu berücksichtigen ist. Volumetrische arbeitende Expansionsmaschinen besitzen ein sog. eingebautes Volumenverhältnis. Es wird Dampf in einer Kammer eingeschlossen, der expandiert wird und nach dem Öffnen der Kammer ausgeschoben wird. Das Volumenverhältnis ist der Quotient aus dem Volumen des Dampfes beim Öffnen der Kammer und dem Volumen des Dampfes beim Schließen der Kammer.

**[0030]** Eine konstruktionsbedingte Nachexpansion oder Rückkompression des Abdampfes ( $\rightarrow$  AD2) wird in einer zweiten Stufe B berücksichtigt.

**[0031]** Gemäß der Wärmeübertragungskapazität des Abdampfes als vierten empirischen Parameter kommt es sodann entweder zu einer Erwärmung oder Abkühlung des expandierten Abdampfes (AD2  $\rightarrow$  AD1). Zu dem Strom des Arbeitsmediums nach der Expansion trägt auch ein Anteil des Frischdampfes nach der isobaren Abkühlung (FD2) bei, der als Leckagemassenstrom mit der Rate  $\dot{m}_{Leakage}$  gemäß einem Leckagequerschnitt als fünften empirischen Parameter an der Expansionsstufe vorbeiströmt. Für diesen Leckagemassenstrom ist der Wärmeverlust  $\dot{Q}_{FD}$  über die isotherme Hülle der Expansionsmaschine gemäß der Wärmeübertragungskapazität des isobar abgekühlten Frischdampfes (FD2) als sechsten empirischen Parameter zu berücksichtigen. Letztlich findet als siebter empirischer Parameter ein mechanisches Verlustmoment  $\dot{W}_{mech}$  der Expansionsmaschine Berücksichtigung. Das Arbeitsmedium verlässt schließlich als Abdampf AD die Expansionsmaschine.

**[0032]** Zur Ermittlung der empirischen Parameter werden in relevanten Betriebsbereichen Messwerte aufgenommen. Sodann kann für unterschiedliche Drehzahlen aus dem Frischdampfdruck und den Abdampfparametern, wie sie beispielsweise gemäß Figur 1 ermittelt werden, der isentrope Wirkungsgrad der Expansionsmaschine auf der Grundlage thermodynamischer Modellgleichungen, die dem Fachmann wohlvertraut sind, bestimmt werden. Mithilfe des bestimmten Wirkungsgrads kann dann auf die relevanten Frischdampfparameter, wie Entropie und Enthalpie oder auch Temperatur, geschlossen werden.

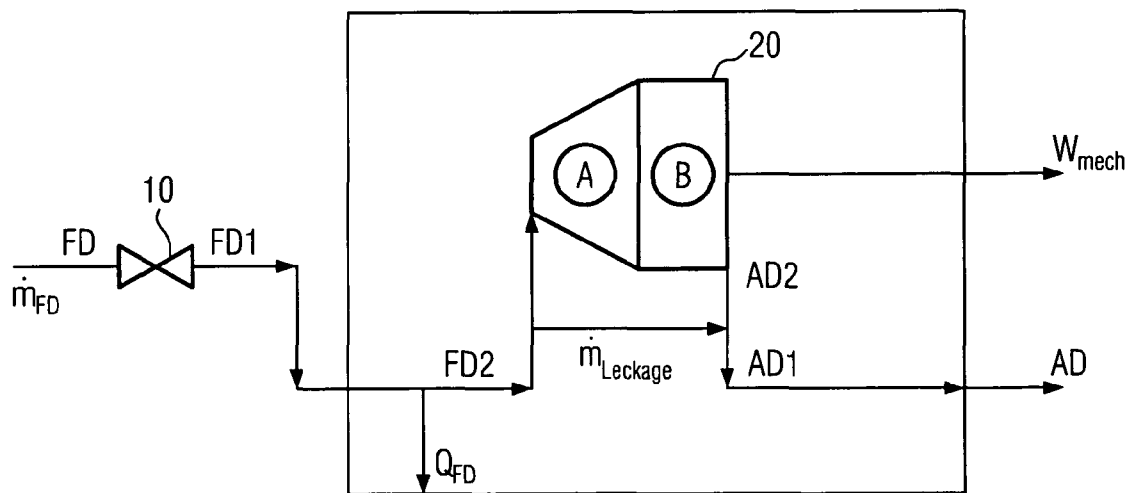
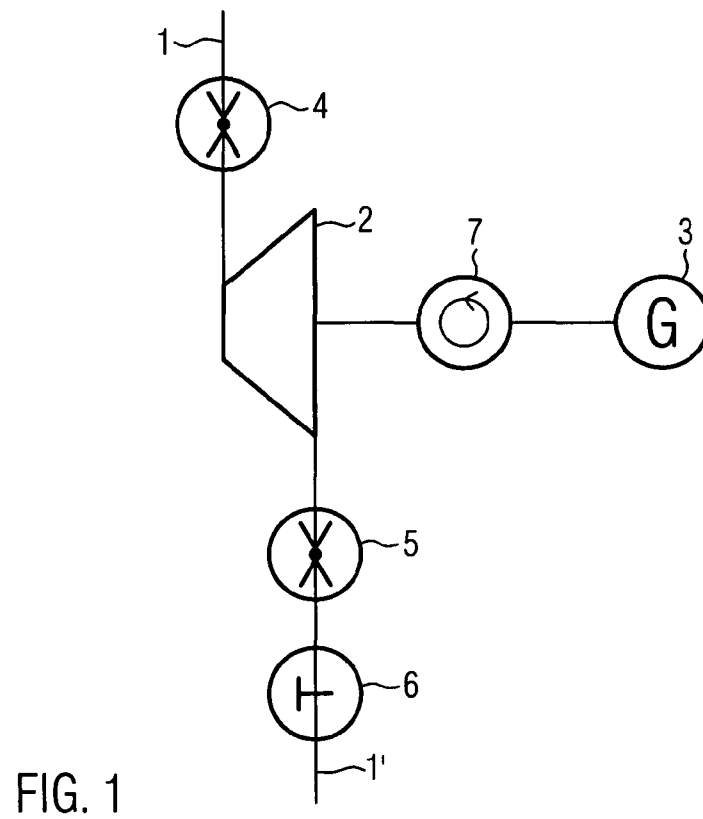
**[0033]** Im Einzelnen bietet sich das folgende iterative Verfahren zur Bestimmung relevanter Frischdampfparameter an. In einem ersten Schritt werden der Druck und die Temperatur des Abdampfes bestimmt, beispielsweise gemessen. Hieraus lässt sich die Entropie des Abdampfes bestimmen. In einem zweiten Schritt werden mithilfe eines Anfangswerts für den isentropen Wirkungsgrad  $\eta(1)$  Frischdampfparameter, wie die Frischdampftemperatur, der Dampfgehalt des Frischdampfes und die Entropie desselben, bestimmt. In einem dritten Schritt wird unter Verwendung der Drehzahl, des Dampfgehalts des Frischdampfes sowie der Temperaturen und Drücke sowohl des Frischdampfes als auch des Abdampfes der iterierte isentropen Wirkungsgrad  $\eta(1+n)$  bestimmt. Im vierten Schritt sind mithilfe des iterierten isentropen Wirkungsgrads  $\eta(1+n)$  nunmehr die neue Werte für die Frischdampfparameter, wie die Frischdampftemperatur, der Dampfgehalt des Frischdampfes und die Entropie desselben, zu bestimmen. Die Schritte 3 und 4 sind solange zu iterieren, bis eine gewünschte vorbestimmte Genauigkeit für die zu bestimmenden Frischdampfparameter erreicht worden ist.

**[0034]** Der isentrope Wirkungsgrad ist i.a. von mehreren Parametern abhängig. So kann er als Funktion der Drehzahl, der Frischdampfparameter, der Abdampfparameter aber auch der Geometrie der Expansionsmaschine, wie es dem Fachmann geläufig ist, bestimmt werden. Der isentrope Wirkungsgrad kann beispielsweise durch numerische Simulation, insbesondere strömungsmechanische Simulationsrechnungen, bestimmt werden. Alternativ kann er empirisch durch eine Ausgleichsfunktion basierend auf Messwerten oder halb-empirisch durch eine Parametrisierung von Bestimmungsgleichungen, wobei Parameter aus Messwerten generiert werden, bestimmt werden. Diese Verfahren zur Bestimmung des isentropen Wirkungsgrads sind dem Fachmann wohl bekannt.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Steuerung oder Regelung und/oder Überwachung einer Vorrichtung mit einer Expansionsmaschine, wobei der Expansionsmaschine Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird, mit den Schritten  
Bestimmen zumindest eines physikalischen Parameters des Abdampfes;  
Bestimmen zumindest eines physikalischen Para-

- meters des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes; und Steuern oder Regeln und/oder Überwachen der Vorrichtung auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes.
2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, weiterhin den Schritt des Bestimmens des isentropen Wirkungsgrads der Expansionsmaschine umfassend, und in dem das Bestimmen des zumindest einen physikalischen Parameters des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten Wirkungsgrads der Expansionsmaschine erfolgt.
  3. Das Verfahren gemäß Anspruch 2, weiterhin den Schritt des Bestimmens des an der Expansionsmaschine anliegenden Druckverhältnisses des Arbeitsmediums und des Massenstroms des Arbeitsmediums umfassend, und in dem das Bestimmen des isentropen Wirkungsgrads der Expansionsmaschine auf der Grundlage des bestimmten anliegenden Druckverhältnisses des Arbeitsmediums und Massenstroms des Arbeitsmediums erfolgt.
  4. Das Verfahren gemäß Anspruch 2, in dem die Expansionsmaschine eine Verdrängermaschine, insbesondere eine Kolbenexpansionsmaschine, ein Scroll-Expander oder ein Schraubenexpander, ist, und weiterhin den Schritt des Bestimmens der Drehzahl der Expansionsmaschine umfassend, und in dem das Bestimmen des isentropen Wirkungsgrads der Expansionsmaschine auf der Grundlage der bestimmten Drehzahl der Expansionsmaschine erfolgt.
  5. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, den Schritt des Modellierens des Betriebs der Expansionsmaschine mit dem Arbeitsmedium auf der Grundlage thermodynamischer Gleichungen und empirisch bestimmter Parametergrößen umfassend, und in dem der Wirkungsgrad der Expansionsmaschine auf der Grundlage des Ergebnisses des Modellierens des Betriebs der Expansionsmaschine erfolgt.
  6. Das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem der zumindest eine bestimmte physikalische Parameter des Abdampfes die Temperatur und/oder den Druck des Abdampfes umfasst.
  7. Das Verfahren gemäß Anspruch 6, den Schritt des Bestimmens der Temperatur des Frischdampfes auf der Grundlage der bestimmten Temperatur und des bestimmten Drucks des Abdampfes umfassend.
  8. Das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin den Schritt des Bestimmens des Drucks des Frischdampfes umfasst, der von dem zumindest einen auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes bestimmten physikalischen Parameter des Frischdampfes verschieden ist, und in dem der zumindest eine physikalische Parameter des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten Drucks des Frischdampfes erfolgt.
  9. Das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem der zumindest eine bestimmte physikalische Parameter des Frischdampfes die Temperatur und/oder Enthalpie und/oder Entropie und/oder das Volumenverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase und/oder der Dampfgehalt und/oder das Dichteverhältnis von gasförmiger zu flüssiger Phase des Frischdampfes umfasst.
  10. Das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem ein organisches Arbeitsmedium als das Arbeitsmedium bereitgestellt wird und die Expansionsmaschine im Rahmen eines Organic Rankine Cycle - Verfahrens zur Erzeugung elektrischer Energie betrieben wird.
  11. Das Verfahren gemäß Anspruch 10, in dem sich der Frischdampf des organischen Arbeitsmediums im überkritischen Zustand oder im Nassdampfbereich befindet.
  12. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem die Vorrichtung ein Dampfkraftwerk, insbesondere ein Organic Rankine Cycle - Dampfkraftwerk, oder ein Bestandteil desselben ist.
  13. Wärmekraftwerk, umfassend eine Expansionsmaschine, der Frischdampf eines Arbeitsmediums zugeführt wird, der in der Expansionsmaschine zu Abdampf expandiert wird; und eine Steuerung oder Regelung; wobei die Steuerung oder Regelung dazu ausgebildet ist, zumindest einen physikalischen Parameter des Abdampfes zu bestimmen; zumindest einen physikalischen Parameter des Frischdampfes auf der Grundlage des bestimmten zumindest einen physikalischen Parameters des Abdampfes zu bestimmen; und das Wärmekraftwerk auf der Grundlage des zumindest einen bestimmten physikalischen Parameters des Frischdampfes zu steuern oder regeln und/oder zu überwachen.





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 10 01 6063

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                                | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)          |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 01/92689 A1 (SIEMENS AG [DE]; GOBRECHT EDWIN [DE]; HAVEMANN JUERGEN [DE]; HENKEL NO) 6. Dezember 2001 (2001-12-06)<br>* Seite 1, Zeile 1 - Seite 8, Zeile 11;<br>Ansprüche 1-4,7; Abbildung 1 * | 1,6,9,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | INV.<br>F01K25/10<br>F01K13/02<br>F01D17/08 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 4 827 429 A (SILVESTRI JR GEORGE J [US]) 2. Mai 1989 (1989-05-02)<br>* Abbildungen 1-3 *                                                                                                        | 1,2,7,8,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                             |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                    | 1,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 2007/008225 A2 (OREGON STATE [US]; PETERSON RICHARD B [US]; HERRON THOMAS G [US]; DROS) 18. Januar 2007 (2007-01-18)<br>* Ansprüche 1,20,21; Abbildungen 1, 13, 17 *                            | 1-5,10-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                             |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 4 549 503 A (KEYES IV MARION A [US] ET AL) 29. Oktober 1985 (1985-10-29)<br>* Abbildung 1 *                                                                                                     | 1,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                             |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2003/213245 A1 (YATES JAN B [US] ET AL) 20. November 2003 (2003-11-20)<br>* Abbildung 1 *                                                                                                       | 1,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)             |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 5 003 782 A (KUCERIJA ZORAN [US]) 2. April 1991 (1991-04-02)<br>* Abbildung 1 *                                                                                                                 | 1,13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | F01K<br>F01D<br>F22G                        |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                             |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                    | Abschlußdatum der Recherche<br><b>29. Juni 2011</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Prüfer<br><b>Lepers, Joachim</b>            |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                    | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                             |

EPO FORM 1503 03/02 (P04C03)

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

EP 10 01 6063

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

29-06-2011

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 0192689 A1                                       | 06-12-2001                    | CN 1432099 A                      | 23-07-2003                    |
|                                                     |                               | EP 1285150 A1                     | 26-02-2003                    |
|                                                     |                               | JP 2003535251 A                   | 25-11-2003                    |
|                                                     |                               | US 2004088984 A1                  | 13-05-2004                    |
| -----                                               |                               |                                   |                               |
| US 4827429 A                                        | 02-05-1989                    | CA 1326296 C                      | 18-01-1994                    |
|                                                     |                               | CN 1030119 A                      | 04-01-1989                    |
|                                                     |                               | ES 2009002 A6                     | 16-08-1989                    |
|                                                     |                               | IT 1220711 B                      | 15-06-1990                    |
|                                                     |                               | JP 1019102 A                      | 23-01-1989                    |
| -----                                               |                               |                                   |                               |
| WO 2007008225 A2                                    | 18-01-2007                    | US 2008006040 A1                  | 10-01-2008                    |
| -----                                               |                               |                                   |                               |
| US 4549503 A                                        | 29-10-1985                    | AU 568016 B2                      | 10-12-1987                    |
|                                                     |                               | AU 4224485 A                      | 21-11-1985                    |
|                                                     |                               | BR 8501393 A                      | 25-02-1986                    |
|                                                     |                               | CA 1225134 A1                     | 04-08-1987                    |
|                                                     |                               | DE 3575194 D1                     | 08-02-1990                    |
|                                                     |                               | EP 0163441 A2                     | 04-12-1985                    |
|                                                     |                               | ES 8603638 A1                     | 16-04-1986                    |
|                                                     |                               | HK 32190 A                        | 04-05-1990                    |
|                                                     |                               | IN 161857 A1                      | 13-02-1988                    |
|                                                     |                               | JP 60243402 A                     | 03-12-1985                    |
|                                                     |                               | MX 161779 A                       | 26-12-1990                    |
|                                                     |                               | SG 19290 G                        | 06-07-1990                    |
| -----                                               |                               |                                   |                               |
| US 2003213245 A1                                    | 20-11-2003                    | KEINE                             |                               |
| -----                                               |                               |                                   |                               |
| US 5003782 A                                        | 02-04-1991                    | KEINE                             |                               |
| -----                                               |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

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