



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.02.2013 Patentblatt 2013/07

(51) Int Cl.:
F01K 13/02 ^(2006.01) **F01K 25/10** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12005615.5**

(22) Anmeldetag: **02.08.2012**

(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:
• **Bauer, Heinz, Dr.**
82067 Ebenhausen (DE)
• **Sapper, Rainer**
82335 Aufkirchen (DE)

(30) Priorität: **09.08.2011 DE 102011109777**

(74) Vertreter: **Zahn, Christoph**
Linde AG
Legal Services Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Strasse 6-14
82049 Pullach (DE)

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(54) **Energiegewinnung aus Niedertemperaturwärme**

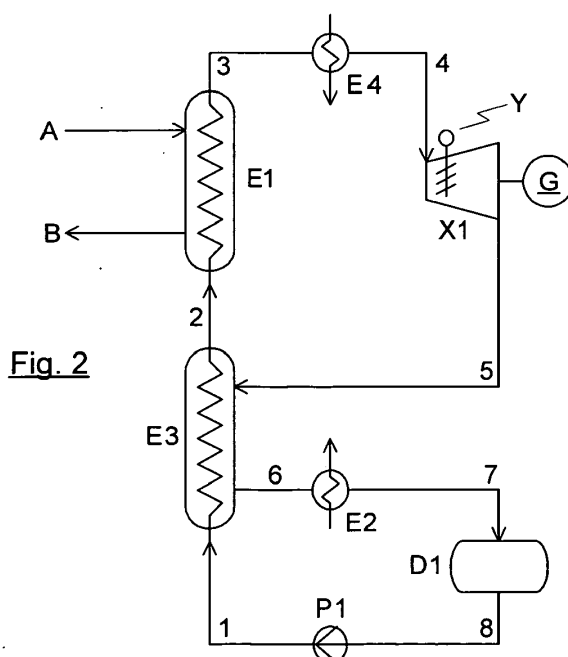
(57) Es wird ein Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs beschrieben, wobei

- das in dem Rankine-Kreislauf zirkulierende Arbeitsmittel vor dem Wärmetausch mit einem externen Medium auf einen Druck oberhalb seines kritischen Drucks gepumpt,
- im Wärmetausch mit dem externen Medium auf eine Temperatur oberhalb seiner kritischen Temperatur an-

gewärmt wird, wobei die Temperatur wenigstens so hoch ist, dass das Arbeitsmittel ohne teilzukondensieren entspannt werden kann,

- das Arbeitsmittel entspannt und das entspannte Arbeitsmittel kondensiert wird.

Erfindungsgemäß erfolgt die Regelung des maximalen Drucks des Arbeitsmittels mittels eines bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels (5) regelbaren Expanders (X1) und/oder einer bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels (1) regelbaren Pumpe (P1).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs, wobei

- das in dem Rankine-Kreislauf zirkulierende Arbeitsmittel vor dem Wärmetausch mit einem externen Medium auf einen Druck oberhalb seines kritischen Drucks gepumpt,
- im Wärmetausch mit dem externen Medium auf eine Temperatur oberhalb seiner kritischen Temperatur angewärmt wird, wobei die Temperatur wenigstens so hoch ist, dass das Arbeitsmittel ohne teilzukondensieren entspannt werden kann,
- das Arbeitsmittel entspannt und
- das entspannte Arbeitsmittel kondensiert wird.

[0002] Die Umwandlung von thermischer in mechanische bzw. elektrische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs ist seit langer Zeit bekannt und wird bspw. überwiegend in thermischen Kraftwerken aller Art eingesetzt. Sofern jedoch das höchste zur Verfügung stehende Temperaturniveau begrenzt ist, führt die Verwendung von Wasser bzw. Wasserdampf als in dem Rankine-Kreislauf zirkulierendes Arbeitsmittel wegen der niedrigen Dampfdichten zu unwirtschaftlich großen Anlagen. Daher kommen in derartigen Fällen andere Arbeitsmittel, wie bspw. Ammoniak, zur Anwendung, die eine für die zur Verfügung stehende Wärmequelle optimale Betriebsdichte ermöglichen.

[0003] Ein gattungsgemäßes Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs ist bspw. im US-Patent 6,751,959 beschrieben. Anhand der Figur 1 sei dieser Prozess in vereinfachter Form erläutert.

[0004] Das Arbeitsmittel, vorzugsweise Wasser oder Ammoniak, wird mittels der Pumpe P10 auf einen Druck jenseits des kritischen Drucks gebracht und über Leitung 10 dem Wärmetauscher E10 zugeführt. Diesem wird über Leitung A ein externes Medium, bspw. Heißwasser, zugeführt, dessen thermische Energie mittels des Rankine-Kreislaufs in mechanische bzw. elektrische Energie umgewandelt werden soll. Dieses im Wärmetauscher E10 gegen das Arbeitsmittel abgekühlte Medium wird anschließend über Leitung B abgezogen.

[0005] Der Wärmetauscher E10 sowie die Zusammensetzung des Arbeitsmittels sind derart auszuwählen bzw. zu wählen, dass das Arbeitsmittel 10 im Wärmetauscher E10 bis zu einer Temperatur oberhalb der kritischen Temperatur angewärmt wird. Mittels dieser Verfahrensweise kann die dem Wärmetauscher E10 durch das Medium A zugeführte fühlbare Wärme besonders gut genutzt werden. Wenn die Temperatur des Arbeitsmittels 11 nach dem Wärmetauscher E10 hinreichend weit - typischerweise wenigstens 30 K - über der kritischen Temperatur liegt, kann der Expander X10 in der Gasphase betrieben und somit eine unerwünschte Teilkondensati-

on des Arbeitsmittels im Expander X10 vermieden werden. Der Expander X10 ist mit einem Generator G verbunden.

[0006] Das Ventil V10 dient dazu, den Druck des Arbeitsmittels im Wärmetauscher E10 oberhalb des kritischen Drucks zu halten. Das entspannte Arbeitsmittel 12 wird im Wärmetauscher E20 nicht nur vollständig kondensiert, sondern darüber hinaus unterkühlt und anschließend dem Sammel- bzw. Pufferbehälter D10 zugeführt. Aus diesem gelangt es über Leitung 13 erneut zur Pumpe P10.

[0007] Auf eine Wärmezufuhr oder -abfuhr außerhalb des Wärmetauschers E10 und E20 wird in der im US-Patent 6,751,959 beschriebenen Verfahrensweise ausdrücklich verzichtet. Das im US-Patent 6,751,959 beschriebene Konzept eines Rankine-Kreislaufs erschwert jedoch den optimalen Betrieb des Expanders X10, da der Eintrittsdruck dieses Expanders nicht geregelt ist, und reduziert zudem den Wirkungsgrad des Verfahrens.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs anzugeben, das die vorgenannten Nachteile vermeidet, insbesondere einen höheren Wirkungsgrad ermöglicht.

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs vorgeschlagen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Regelung des maximalen Drucks des Arbeitsmittels mittels eines bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Expanders und/oder einer bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Pumpe erfolgt.

[0010] Im Gegensatz zu der eingangs beschriebenen, zum Stand der Technik zählenden Verfahrensweise erfolgt die Regelung des maximalen Drucks des Arbeitsmittels nicht mittels eines Ventils, sondern mittels eines bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Expanders und/oder einer bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Pumpe. Der bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbare Expander weist vorzugsweise einen verstellbaren Eintrittsleitapparat auf, der vorzugsweise aus einem Düsenring am Eintritt des Expanders besteht. Mittels der bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Pumpe kann der gewünschte Betriebsdruck des Arbeitsmittels am Eintritt des Wärmetauschers, in dem der Wärmetausch zwischen dem Arbeitsmittel und dem externen Medium erfolgt, eingestellt werden. Durch die erfindungsgemäße Verfahrensweise wird der Eintrittszustand des Expanders, der für den reibungslosen Betrieb des Rankine-Kältekreislaufes erforderlich ist, stabilisiert.

[0011] Entsprechend einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Arbeitsmittel insbesondere während der Anfahrprozedur und/oder dem Teillastbetrieb zusätzlich angewärmt. Diese Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfordert einen zusätzlichen Wärmetauscher sowie ei-

nen (zusätzlichen) Medienstrom, der Wärme auf einem hinreichend hohen Niveau bereitzustellen vermag. In vorteilhafter Weise wird durch diese zusätzliche Anwärmung des Arbeitsmittels gewährleistet, dass auch während der Anfahrprozedur und/oder im Teillastbetrieb die Temperatur des Arbeitsmittels wenigstens 30 °C, vorzugsweise 40 bis 60 °C über der kritischen Temperatur liegt. Somit kann mittels dieser Ausgestaltung die Eintrittstemperatur des Expanders auch während der Anfahrprozedur und/oder im Teillastbetrieb im Wesentlichen konstant gehalten werden kann.

[0012] In vorteilhafter Weise wird das entspannte Arbeitsmittel zur Vorwärmung des gepumpten Arbeitsmittels verwendet, bevor dieses dem Wärmetausch mit dem externen Medium unterworfen wird. Diese Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Austrittstemperatur des Arbeitsmittels aus dem Expander höher liegt als die Kondensationstemperatur in dem dem Expander nachgeschalteten Wärmetauscher. In diesem Fall kann die Wärme aus dem Temperaturintervall zwischen der Austrittstemperatur und der Kondensationstemperatur zur Vorwärmung des Arbeitsmittels herangezogen werden.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren weiterbildend wird vorgeschlagen, dass das entspannte Arbeitsmittel kondensiert, jedoch nicht unterkühlt wird. Auf eine Unterkühlung des Arbeitsmittels kann insbesondere dann verzichtet werden, wenn der vorzusehende Sammelbehälter hinreichend hoch über der Pumpe aufgestellt wird, um unerwünschte Kavitation in der Pumpe zu verhindern. Die beiden letztgenannten Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens führen zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0014] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt der Druck des Arbeitsmittels am Eintritt des Expanders wenigstens 30 %, vorzugsweise zwischen 40 und 50 % über dem kritischen Druck des Arbeitsmittels. Durch diesen Mindestabstand zu dem jeweiligen kritischen Druck des Arbeitsmittels können unerwünscht starke Schwankungen von Stoffeigenschaften, wie bspw. Dichte und Viskosität, zuverlässig vermieden werden; diese Schwankungen können in der Nähe des kritischen Punkts bei geringen Veränderungen von Druck und/oder Temperatur auftreten.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren weiterbildend wird vorgeschlagen, dass in den Rankine-Kreislauf Propan, Propylen oder eine beliebige Mischung von Propan und Propylen als Arbeitsmittel zirkuliert. Diese Ausgestaltung ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Temperatur des externen Mediums A zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 130 und 160 °C beträgt.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen desselben seien nachfolgend anhand des in der Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiels

näher erläutert.

[0017] Das in dem Rankine-Kreislauf zirkulierende Arbeitsmittel wird mittels der Pumpe P1 auf den gewünschten Arbeitsdruck gebracht und im Wärmetauscher E3 gegen das entspannte Arbeitsmittel 5 vorgewärmt. Erfindungsgemäß ist eine Pumpe P1 vorzusehen, die bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels 1 regelbar ist. Mittels der Pumpe P1 wird das Arbeitsmittel auf einen Druck gepumpt, dass sichergestellt werden kann, dass der Druck des angewärmten Arbeitsmittels 4 am Eintritt des Expanders X1 wenigstens 30 %, vorzugsweise zwischen 40 und 50 % über dem kritischen Druck des Arbeitsmittels liegt.

[0018] Das im Wärmetauscher E3 vorgewärmte Arbeitsmittel wird über Leitung 2 dem Wärmetauscher E1 zugeführt, dem über Leitung A ein externes Medium, beispielsweise Heißwasser, zugeführt wird. Dieses externe Medium wird im Wärmetauscher E1 gegen das Arbeitsmittel abgekühlt und über Leitung B aus dem Wärmetauscher E1 abgezogen. Das aus dem Wärmetauscher E1 über Leitung 3 abgezogene Arbeitsmittel ist vorzugsweise auf eine Temperatur angewärmt, die wenigstens 30 K oberhalb seiner kritischen Temperatur liegt.

[0019] Der Wärmetauscher E4 dient der Anwärmung des Arbeitsmittels durch ein geeignetes (zusätzliches) externes Medium, vorzugsweise während der Anfahrprozedur und/oder im Teillastbetrieb. Im normalen Betrieb des Rankine-Kreislaufs ist dieser Wärmetauscher nicht erforderlich. Über Leitung 4 wird das Arbeitsmittel dem Expander X1 zugeführt. Erfindungsgemäß handelt es sich bei dem Expander X1 um einen bezüglich des Mengenstromes des Arbeitsmittels regelbaren Expanders. Zu diesem Zweck weist der Expander X1 vorzugsweise einen verstellbaren Eintrittsleitapparat Y auf, der vorzugsweise aus einem Düsenring am Eintritt des Expanders besteht.

[0020] Das entspannte Arbeitsmittel wird über Leitung 5 dem Wärmetauscher E3 zugeführt. Die im Wärmetauscher E3 realisierte Vorwärmung des gepumpten Arbeitsmittels 1 ist insbesondere dann zweckmäßig, wenn die Austrittstemperatur des Arbeitsmittels 5 aus dem Expander X1 höher liegt als die Kondensationstemperatur in dem dem Expander X1 nachgeschalteten Wärmetauscher E2. In diesem Fall kann die Wärme aus dem Temperaturintervall zwischen der Austrittstemperatur und der Kondensationstemperatur im Wärmetauscher E3 zur Vorwärmung des Arbeitsmittels 1 herangezogen werden.

[0021] Über Leitung 6 wird das entspannte Arbeitsmittel dem Wärmetauscher E2 zugeführt und in diesem gegen ein geeignetes externes Medium kondensiert und unterkühlt. Anschließend wird das unterkühlte Arbeitsmittel über Leitung 7 dem Sammel- bzw. Pufferbehälter D1 zugeführt. Aus diesem gelangt es über Leitung 8 erneut zur Pumpe P1. Auf eine Unterkühlung des Arbeitsmittels 6 im Wärmetauscher E2 kann dann verzichtet werden, wenn der Sammelbehälter D1 hinreichend hoch über der Pumpe P1 aufgestellt wird, um unerwünschte

Kavitation in der Pumpe P1 zu verhindern.

[0022] Sofern die Temperatur des dem Wärmetauscher E1 zugeführten externen Mediums A zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 130 und 160 °C beträgt, wird als Arbeitsmittel vorzugsweise Propan, Propylen oder eine beliebige Mischung von Propan und Propylen verwendet.

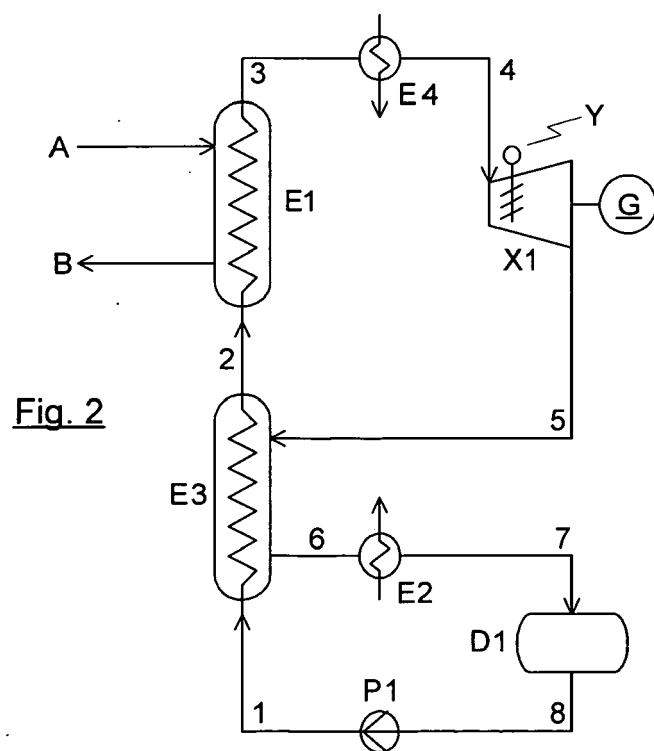
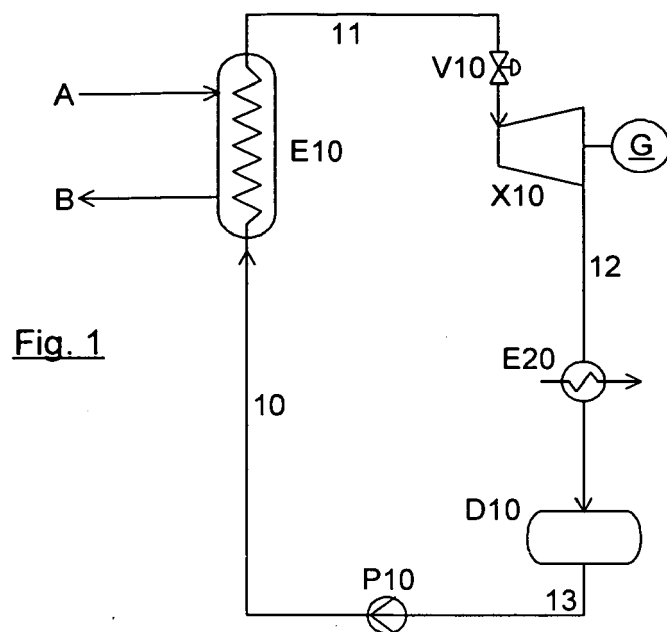
[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie ermöglicht eine Stabilisierung des der Eintrittszustands des Expanders X1, was zu einem verbesserten Betrieb des Rankine-Kältekreislaufes führt. Zudem weist das erfindungsgemäße Verfahren einen höheren Wirkungsgrad als das eingangs beschriebene, zum Stand der Technik zählende Verfahren auf.

che 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck des Arbeitsmittels (4) am Eintritt des Expanders (X1) wenigstens 30 %, vorzugsweise zwischen 40 und 50 % über dem kritischen Druck des Arbeitsmittels liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Rankine-Kreislauf Propan, Propylen oder eine beliebige Mischung von Propan und Propylen als Arbeitsmittel zirkuliert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie mittels eines Rankine-Kreislaufs, wobei
 - das in dem Rankine-Kreislauf zirkulierende Arbeitsmittel vor dem Wärmetausch mit einem externen Medium auf einen Druck oberhalb seines kritischen Drucks gepumpt,
 - im Wärmetausch mit dem externen Medium auf eine Temperatur oberhalb seiner kritischen Temperatur angewärmt wird, wobei die Temperatur wenigstens so hoch ist, dass das Arbeitsmittel ohne teilzukondensieren entspannt werden kann,
 - das Arbeitsmittel entspannt und
 - das entspannte Arbeitsmittel kondensiert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung des maximalen Drucks des Arbeitsmittels mittels eines bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels (5) regelbaren Expanders (X1) und/oder einer bzgl. des Mengenstromes des Arbeitsmittels (1) regelbaren Pumpe (P1) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsmittel (3) insbesondere während der Anfahrprozedur und/oder im Teillastbetrieb zusätzlich angewärmt wird (E4).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das entspannte Arbeitsmittel (5) zur Vorwärmung (E3) des gepumpten Arbeitsmittels (1) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das entspannte Arbeitsmittel (5) kondensiert (E2), jedoch nicht unterkühlt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-



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

- US 6751959 B [0003] [0007]