

(19)



(11)

EP 2 188 499 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.09.2016 Patentblatt 2016/39

(51) Int Cl.:
F01K 25/04^(2006.01) F01K 25/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07822436.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/062147

(22) Anmeldetag: **09.11.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/030283 (12.03.2009 Gazette 2009/11)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR UMWANDLUNG DER WÄRMEENERGIE EINER NIEDERTEMPERATUR-WÄRMEQUELLE IN MECHANISCHE ENERGIE

METHOD AND DEVICE FOR CONVERTING THERMAL ENERGY OF A LOW TEMPERATURE HEAT SOURCE INTO MECHANICAL ENERGY

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF PERMETTANT DE TRANSFORMER L'ÉNERGIE THERMIQUE D'UNE SOURCE DE CHALEUR BASSE TEMPÉRATURE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **31.08.2007 DE 102007041457**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.05.2010 Patentblatt 2010/21

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **LENGERT, Jörg**
91475 Lonnerstadt-Ailsbach (DE)
• **LENGERT, Martina**
91475 Lonnerstadt-Ailsbach (DE)
• **RUHSLAND, Kathrin**
91325 Adelsdorf / OT Aisch (DE)
• **WEINBERG, Norbert**
91083 Baiersdorf (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-2005/031123 WO-A-2005/061858
DE-A1- 1 426 917 DE-A1- 10 361 203
DE-A1- 10 361 223 GB-A- 2 436 129

EP 2 188 499 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperaturquelle in mechanische Energie gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 5. Ein derartiges Verfahren bzw. eine derartige Vorrichtung sind z.B. aus der US 7,093,503 B1 und aus DE10361223 A1 bekannt.

[0002] Zur Nutzung der Wärmeenergie von Niedertemperatur-Wärmequellen, wie z.B. von Geothermalquellen, gasförmiger, dampfförmiger oder flüssiger Abwärmequellen oder der Sonnenenergie, ist es bereits bekannt, in einem Kreislauf ein Arbeitsmittel durch die Wärmequelle nicht zu verdampfen, sondern nur zu erwärmen. Durch den Wegfall des Verdampfens kann die normalerweise zum Verdampfen des Arbeitsmittels benötigte Wärmeenergie genutzt werden, z.B. kann ein deutlich höherer Massenstrom an Arbeitsmittel erwärmt werden. Hierdurch sind für Niedertemperaturquellen im Temperaturbereich von weniger als 400°C deutliche Wirkungsgradvorteile gegenüber Kreisläufen mit einer Verdampfung des Arbeitsmittels erzielbar.

[0003] Bei einem aus der US 7,093,503 B1 bekannten Kreislauf wird in einem ersten Schritt ein flüssiges Arbeitsmittel mit einer Pumpe auf einen erhöhten Druck gebracht. In einem zweiten Schritt wird das druckerhöhte, flüssige Arbeitsmittel in einem Wärmeübertrager durch Wärmeübertragung von einer Niedertemperaturquelle erwärmt, ohne dass es verdampft wird. In einem dritten Schritt wird das erwärmte, flüssige Arbeitsmittel in einer Zweiphasen-Turbine entspannt, wobei durch teilweises Verdampfen des Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer flüssigen und einer dampfförmigen Phase erzeugt und Wärmeenergie des Arbeitsmittels in mechanische Energie umgewandelt wird.

[0004] Die Zweiphasen-Turbine weist hierzu unmittelbar an ihrem Eingang Düsen auf, in denen das Arbeitsmittel durch eine Volumenvergrößerung von einem höheren Eingangsdruck zu einem geringeren Ausgangsdruck expandiert wird, wodurch das Arbeitsmittel teilweise verdampft wird. Der hierdurch entstehende Wasser-Dampf-Strahl wird auf Turbinenblätter der Turbine geleitet, durch die die kinetische Energie des Wasser-Dampf-Strahls in mechanische Energie einer Rotorwelle umgewandelt wird. Die Rotorwelle ist wiederum mit einem Generator verbunden, über den die mechanische Energie der Rotorwelle in elektrische Energie umgewandelt wird.

[0005] Das die Turbine verlassende zweiphasige Arbeitsmittel wird anschließend einem Kondensator zugeführt. In dem Kondensator wird dann in einem vierten Schritt die dampfförmige Phase des entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittels kondensiert und somit das eingangs erwähnte flüssige Arbeitsmittel erzeugt. Dieses wird der bereits erwähnten Pumpe zugeführt und somit der Kreislauf geschlossen. Ein in FIG 2 dargestelltes T-s-Diagramms veranschaulicht den dabei ablaufen-

den Kreisprozess. Dabei bezeichnet SL die Siedelinie, TL die Taulinie und K den kritischen Punkt des Arbeitsmittels. Das Arbeitsmittel wird entlang der Siedelinie SL von Punkt A bis zum Punkt B in die Nähe des kritischen Punktes K erwärmt, von Punkt B nach Punkt C unter teilweiser Verdampfung entspannt und von Punkt C nach Punkt A kondensiert.

[0006] Aus der WO 2005/031123 A1 ist es darüber hinaus bekannt, ein eine Zweiphasenturbine verlassendes Zweiphasengemisch einem Separator zuzuführen, um die dampfförmige von der flüssigen Phase zu trennen. Die dampfförmige Phase wird daraufhin in einer Dampfturbine weiter expandiert, um zusätzliche mechanische Energie zu erzeugen. Der die Dampfturbine verlassende entspannte Dampf wird einem Kondensator zugeführt, darin kondensiert, anschließend mittels einer Pumpe auf erhöhten Druck gebracht und dann mit der in dem Separator abgetrennten flüssigen Phase des Zweiphasengemisches zusammengeführt. Der hierdurch entstehende Arbeitsmittelstrom wird daraufhin mit Hilfe einer weiteren Pumpe in einen Wärmeübertrager gepumpt, indem es durch Wärmeübertragung von einer Niedertemperaturquelle erwärmt wird. Dem Kondensator wird somit nur der Abdampf der Dampfturbine zugeführt, jedoch nicht das Zweiphasengemisch der Zweiphasenturbine. Dieser Kreislauf zeichnet sich zwar durch einen sehr guten Wirkungsgrad, aber auch durch eine deutlich höhere Komplexität und Investitionskosten aus.

[0007] Bei einem aus der EP 0 485 596 A1 bekannten Kreislauf wird ebenfalls nur ein erwärmtes flüssiges, d. h. kein verdampftes, Arbeitsmittel einer Entspannungseinrichtung zugeführt und darin teilweise verdampft. Das die Entspannungseinrichtung verlassende Wasser-Dampf-Gemisch wird danach einem Separator zugeführt, der lediglich zur Messung der Flüssigkeitsanteile in dem Dampf dient.

[0008] Wird bei dem eingangs erläuterten Kreislauf dem Kondensator das die Turbine verlassende Zweiphasengemisch zugeführt, so kann es durch die Flüssigkeitsbestandteile zu einer Erosion des Kondensators kommen, wodurch sich die Lebenszeit des Kondensators verkürzt.

[0009] Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 5 derart weiterzubilden, dass eine Erosion des Kondensators sicher verhindert werden kann, ohne dass sich die Komplexität des Kreislaufes wesentlich erhöht.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass bei dem entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittel unmittelbar vor dem Kondensator die flüssige Phase von der dampfförmigen Phase getrennt wird. Nur die dampfförmige Phase wird dem Kondensator zur Kondensation zugeführt. Die kondensierte dampfförmige (d. h. dann flüssige) Phase und die separierte flüssige Phase werden nach dem Kondensator, aber vor dem Schritt 1, d.h. dem Erhöhen des Drucks des flüssigen Arbeitsmit-

tels, zur Erzeugung des flüssigen Arbeitsmittels zusammengeführt. Die flüssige Phase wird somit an dem Kondensator vorbeigeführt, wodurch eine Erosion des Kondensators verhindert werden kann. Hierzu wird lediglich ein Separator zur Trennung der flüssigen Phase von der dampfförmigen Phase, eine Umgehungsleitung für die Leitung der flüssigen Phase an dem Kondensator vorbei und eine Zusammenführung zur Zusammenführung der (separierten) flüssigen und der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase benötigt. Die Komplexität des Kreislaufes wird somit nur unwesentlich erhöht.

[0011] Die Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels nach der Entspannung ist abhängig von dem Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator. Je höher der Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator und damit am Ausgang der Entspannungseinrichtung ist, desto kleiner sind die Tröpfchen. Je kleiner wiederum die Tröpfchen sind, umso geringer ist die Erosionsgefahr, die von den Tröpfchen ausgeht. Auf der anderen Seite sinkt jedoch mit größer werdendem Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator und am Ausgang der Entspannungseinrichtung die durch Umwandlung von Wärmeenergie durch die Entspannungseinrichtung erzeugbare mechanische Energie.

[0012] Bevorzugt wird deshalb der Druck des Arbeitsmittels bei der Kondensation auf ein Optimum zwischen einer möglichst kleinen Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels und möglichst großer erzeugter mechanischer Energie in dem Schritt 3 eingestellt. Es wird somit gezielt die erzeugte mechanische Energie verringert, um eine Erosion des Kondensators zu vermeiden. Aufgrund des enormen Wirkungsgradvorteils bedingt durch die Erwärmung statt Verdampfung des Arbeitsmittels durch die Niedertemperaturwärmequelle sind jedoch weiterhin deutliche Wirkungsgradvorteile gegenüber konventionellen Kreisläufen mit einer Verdampfung des Arbeitsmittels durch die Niedertemperaturwärmequelle erzielbar.

[0013] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Zusammenführung der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase und der (separierten) flüssigen Phase in einem Arbeitsmittelspeicher. Da ein derartiger Speicher in vielen Kreisläufen ohnehin vorhanden ist, kann auf ein zusätzliches Bauelement für die Zusammenführung der beiden Phasen verzichtet werden.

[0014] Besonders gute Wirkungsgrade sind hierbei dann erzielbar, wenn die Niedertemperaturquelle eine Temperatur von weniger als 400°C aufweist.

[0015] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist einen Separator zur Trennung der flüssigen Phase von der dampfförmigen Phase des entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittels auf, wobei der Separator in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels unmittelbar vor dem Kondensator angeordnet ist. Eine Zusammenführung dient zur Zusammenführung der (separierten) flüssigen

Phase und der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase des entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittels, wobei die Zusammenführung in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels vor der Pumpe angeordnet ist. Der Separator ist mit dem Kondensator zur Zufuhr der dampfförmigen Phase zu dem Kondensator verbunden. Die Zusammenführung ist mit dem Separator zur Zufuhr der (separierten) flüssigen Phase zu der Zusammenführung und mit dem Kondensator zur Zufuhr der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase zu der Zusammenführung verbunden. Die für das erfindungsgemäße Verfahren genannten Vorteile gelten entsprechend für die erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0016] Bevorzugt ist der Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator auf ein Optimum zwischen einer möglichst kleinen Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels und einer möglichst großen erzeugbaren mechanischen Energie in der Entspannungseinrichtung einstellbar.

[0017] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung ist die Zusammenführung als ein Arbeitsmittelspeicher ausgebildet.

[0018] Von Vorteil sind in der Entspannungseinrichtung zur Entspannung des erwärmten Arbeitsmittels in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels aufeinander folgend eine Düse und eine Turbine angeordnet. In der Düse kann das Arbeitsmittel durch eine Volumenvergrößerung von einem höheren Eingangsdruck zu einem geringeren Ausgangsdruck expandiert werden, wodurch das Arbeitsmittel teilweise verdampft wird. Der hierdurch entstehende Wasser-Dampf-Strahl kann dann auf die Turbinenblätter der Turbine geleitet werden, durch die die kinetische Energie des Wasserdampfstrahls in mechanische Energie einer Rotorwelle umgewandelt wird. Statt nur einer einzigen Düse können am Eingang der Turbine, z.B. in einer Ringkonfiguration, auch mehrere Düsen angeordnet sein, die parallel von dem Arbeitsmittel durchströmbar sind.

[0019] Die Düse und die Turbine können hierbei auch eine einzige bauliche Einheit bilden, d.h. die Düsen sind unmittelbar am Eingang der Turbine angeordnet.

[0020] Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß den Merkmalen der Unteransprüche werden im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in den Figuren näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 eine Schaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in vereinfachter, schematischer Darstellung und

FIG 2 ein T-s-Diagramm eines aus dem Stand der Technik bekannten Kreislaufes mit einer Erwärmung (ohne Verdampfung) eines Arbeitsmittels durch eine Niedertemperaturquelle.

[0021] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperatur-

Wärmequelle in mechanische Energie umfasst einen thermodynamischen Kreislauf, in dem in Strömungsrichtung eines Arbeitsmittels aufeinander folgend ein Wärmeübertrager 2, eine Entspannungseinrichtung 3, ein Separator 7, ein Kondensator 8, ein Arbeitsmittelspeicher in Form eines Kondensattanks 9 und eine Pumpe 10 angeordnet sind.

[0022] Bei der Niedertemperatur-Wärmequelle handelt es sich um eine Wärmequelle mit einer Temperatur von weniger als 400 °C. Beispiele für derartige Wärmequellen sind Geothermalquellen (heißes Thermalwasser), industrielle Abwärmequellen (z.B. Abwärme von Anlagen der Stahl, Glas oder Zementindustrie) sowie die Sonnenenergie.

[0023] Für Temperaturen von weniger als 300°C kommt als Arbeitsmittel beispielsweise eine Kühlflüssigkeit vom Typ R134 und für Temperaturen von mehr als 300°C kommt beispielsweise eine Kühlflüssigkeit vom Typ R245 zum Einsatz. Die Pumpe 10 dient zum Pumpen des flüssigen Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck.

[0024] Der Wärmeübertrager 2 dient zum Erwärmen des druckerhöhten, flüssigen Arbeitsmittels des Kreislaufes durch Übertragung von Wärme von der Niedertemperatur-Wärmequelle 20 auf das Arbeitsmittel ohne Verdampfung des Arbeitsmittels, d.h. das Arbeitsmittel wird in dem Wärmeübertrager 2 nur erwärmt und nicht verdampft. Der Wärmeübertrager wird hierzu auf seiner Primärseite von der Niedertemperatur-Wärmequelle 20, z.B. einem heißen Geothermalwasser, und auf seiner Sekundärseite von dem druckerhöhten Arbeitsmittel durchströmt. Eine Leitung 11 verbindet die Sekundärseite des Wärmeübertragers 2 mit der Entspannungseinrichtung 3. Das Arbeitsmittel liegt am sekundärseitigen Ausgang des Wärmeübertragers 2 beim Eintritt in die Leitung 11 weiterhin als Flüssigkeit vor.

[0025] Die Entspannungseinrichtung 3 dient zur Entspannung des erwärmten flüssigen Arbeitsmittels, wobei in der Entspannungseinrichtung 3 durch teilweise Verdampfung des erwärmten flüssigen Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer flüssigen und einer dampfförmigen Phase erzeugbar und Wärmeenergie des erwärmten flüssigen Arbeitsmittels in mechanische Energie umwandelbar ist. Die Entspannungseinrichtung 3 umfasst hierzu eine Düse 4 und eine Turbine 5, die in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels aufeinander folgend angeordnet sind. Die Düse und die Turbine können hierbei eine einzige bauliche Einheit bilden, d.h. die Düse 4 ist unmittelbar am Eingang der Turbine 5 angeordnet. Statt nur einer einzigen Düse 4 können am Eingang der Turbine 5, z.B. in einer Ringkonfiguration, auch mehrere Düsen 4 angeordnet sein, die parallel von dem Arbeitsmittel durchströmbar sind.

[0026] Die Turbine 5 ist ausgangsseitig über eine Leitung 12 mit dem Separator 7 verbunden. Der Separator 7 dient zur Trennung der flüssigen Phase von der dampfförmigen Phase des in der Entspannungseinrichtung 3 teilweise verdampften Arbeitsmittels. Der Separator 7 ist in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels unmittelbar vor

dem Kondensator 8 angeordnet und über eine Leitung 13 mit dem Kondensator 8 zur Zufuhr der dampfförmigen Phase zu dem Kondensator 8 und über eine Leitung 14 mit dem Kondensattank 9 zur Zufuhr der flüssigen Phase zu dem Kondensattank 9 verbunden.

[0027] Der Kondensator 8 dient zum Erzeugen des flüssigen Arbeitsmittels durch Kondensation des teilweise verdampften Arbeitsmittels.

[0028] Der Kondensattank 9 dient zur Zusammenführung der flüssigen Phase und der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase des teilweise verdampften Arbeitsmittels. Der Kondensattank 9 ist in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels nach dem Kondensator 8 und vor der Pumpe 10 angeordnet und über eine Leitung 14 mit dem Separator 7 zur Zufuhr der flüssigen Phase und über eine Leitung 15 mit dem Kondensator 8 zur Zufuhr der kondensierten dampfförmigen Phase zu dem Kondensattank 9 verbunden.

[0029] Beim Betrieb der Vorrichtung 1 wird in einem ersten Schritt flüssiges Arbeitsmittel aus dem Kondensattank 9 durch die Pumpe 10 auf einen erhöhten Druck gebracht und in den Wärmeübertrager 2 gepumpt.

[0030] In einem zweiten Schritt wird das druckerhöhte, flüssige Arbeitsmittel in dem Wärmeübertrager 2 durch Übertragung von Wärme von der den Wärmeübertrager 2 primärseitig durchströmenden Niedertemperaturwärmequelle 20 auf das Arbeitsmittel erwärmt, ohne dass es verdampft wird.

[0031] In einem dritten Schritt wird in der Entspannungseinrichtung 3 das erwärmte, flüssige Arbeitsmittel entspannt, wobei das Arbeitsmittel teilweise verdampft und seine Wärmeenergie in mechanische Energie umgewandelt wird. Durch die Entspannungseinrichtung 3 wird somit ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer flüssigen und einer dampfförmigen Phase erzeugt. Hierzu wird das über die Leitung 11 der Düse 4 zugeführte erwärmte, flüssige Arbeitsmittel in der Düse 4 expandiert und dadurch teilweise verdampft. Die kinetische Energie des dadurch entstehenden Wasserdampf-Strahls wird in der Turbine 5 in mechanische Energie einer Rotorwelle umgewandelt und damit ein Generator 6 angetrieben, der die mechanische Energie wiederum in elektrische Energie umwandelt.

[0032] Das in dem dritten Schritt erzeugte und die Turbine 5 verlassende entspannte, teilweise verdampfte Arbeitsmittel in Form eines Zweiphasen-Gemisches (Dampf/Flüssigkeit) wird über eine Leitung 12 dem Separator 7 zugeführt, indem die dampfförmige Phase von der flüssigen Phase des Zweiphasen-Gemisches getrennt wird.

[0033] Nur die dampfförmige Phase wird über die Leitung 13 dem Kondensator 8 zugeführt. In dem Kondensator 8 wird die dampfförmige Phase durch eine Kühlung, beispielsweise durch eine Direktkühlung, Luftkühlung, Hybridkühlung oder Wasserkühlung, kondensiert und die kondensierte dampfförmige (d.h. dann flüssige) Phase über die Leitung 15 dem Kondensattank 9 zugeführt.

[0034] Die abgetrennte flüssige Phase wird dagegen

über die Leitung 14 an dem Kondensator 8 vorbeigeführt und erst danach, aber noch vor der Pumpe 10 und somit vor dem ersten Schritt, mit der kondensierten dampfförmigen (d.h. dann flüssigen) Phase in dem Kondensattank 9 zusammengeführt.

[0035] Flüssiges Arbeitsmittel aus dem Kondensattank 9 wird mit Hilfe der Pumpe 10 auf erhöhten Druck gebracht und in den Wärmeübertrager 2 gepumpt, wodurch der Kreislauf geschlossen wird.

[0036] Durch die Separierung der flüssigen Phase von der gasförmigen Phase des die Turbine 5 verlassenden Zweiphasen-Gemisches in dem Separator 7 und die anschließende Leitung der flüssigen Phase am Kondensator 8 vorbei direkt in den Kondensattank 9 kann eine Erosion des Kondensators 8 verhindert werden.

[0037] Der Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator 8 ist hierbei auf ein Optimum zwischen einer möglichst kleinen Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels und möglichst großer erzeugter mechanischer Energie in dem dritten Schritt eingestellt. Hierdurch kann eine Erosion des Kondensators noch weiter verringert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperaturwärmequelle (20) in mechanische Energie in einem geschlossenen Kreislauf mit den folgenden Schritten:

- Schritt 1: Erhöhen des Drucks eines flüssigen Arbeitsmittels,
- Schritt 2: Erwärmen des druckerhöhten, flüssigen Arbeitsmittels durch Übertragung von Wärme von der Niedertemperaturwärmequelle (20) auf das Arbeitsmittel ohne Verdampfung des Arbeitsmittels,
- Schritt 3: Entspannen des erwärmten, flüssigen Arbeitsmittels, wobei durch teilweises Verdampfen des Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer dampfförmigen und einer flüssigen Phase erzeugt und Wärmeenergie des Arbeitsmittels in mechanische Energie umgewandelt wird,
- Schritt 4: Kondensieren der in Schritt 3 erzeugten dampfförmigen Phase in einem Kondensator (8) zur Erzeugung des flüssigen Arbeitsmittels von Schritt 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das bei dem in dem Schritt 3 erzeugten entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittel unmittelbar vor dem Kondensator (8) die flüssige Phase von der dampfförmigen Phase getrennt wird,
- nur die dampfförmige Phase dem Kondensator

(8) zugeführt wird,

- die kondensierte dampfförmige Phase und die flüssigen Phase nach dem Kondensator (8), aber vor dem Schritt 1, zur Erzeugung des flüssigen Arbeitsmittels zusammengeführt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator (8) auf ein Optimum zwischen einer möglichst kleinen Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels und möglichst großer erzeugter mechanischer Energie in dem Schritt 3 eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusammenführung der kondensierten dampfförmigen Phase und der flüssigen Phase in einem Arbeitsmittelspeicher (9) erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Niedertemperaturquelle eine Temperatur von weniger als 400°C aufweist.

5. Vorrichtung (1) zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperaturwärmequelle (20) in mechanische Energie in einem geschlossenen Kreislauf umfassend

- eine Pumpe (10) zum Erhöhen des Drucks eines flüssigen Arbeitsmittels,
- einen Wärmeübertrager (2) zum Erwärmen des druckerhöhten, flüssigen Arbeitsmittels durch Übertragung von Wärme von der Niedertemperaturwärmequelle (20) auf das Arbeitsmittel ohne Verdampfung des Arbeitsmittels,
- eine Entspannungseinrichtung (3) zur Entspannung des erwärmten flüssigen Arbeitsmittels, wobei in der Entspannungseinrichtung (3) durch teilweise Verdampfung des Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer flüssigen und einer dampfförmigen Phase erzeugbar und Wärmeenergie des Arbeitsmittels in mechanische Energie umwandelbar ist,
- einen Kondensator (8) zur Kondensation der dampfförmigen Phase des teilweise verdampften Arbeitsmittels zum Erzeugen des flüssigen Arbeitsmittels,

gekennzeichnet durch

- einen Separator (7) zur Trennung der flüssigen Phase von der dampfförmigen Phase des entspannten, teilweise verdampften Arbeitsmittels,

wobei der Separator (7) in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels unmittelbar vor dem Kondensator (8) angeordnet und mit dem Kondensator (8) zur Zufuhr der dampfförmigen Phase zu dem Kondensator (8) verbunden ist,

- eine Zusammenführung (9) zur Zusammenführung der flüssigen Phase und der kondensierten dampfförmigen Phase des teilweise verdampften Arbeitsmittels, wobei die Zusammenführung (9) in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels vor der Pumpe (10) angeordnet und mit dem Separator (7) zur Zufuhr der flüssigen Phase und mit dem Kondensator (8) zur Zufuhr der kondensierten dampfförmigen Phase zu der Zusammenführung (9) verbunden ist.

6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck des Arbeitsmittels in dem Kondensator (8) auf ein Optimum zwischen einer möglichst kleinen Größe von Tröpfchen der flüssigen Phase in der dampfförmigen Phase des Arbeitsmittels und einer möglichst großen erzeugbaren mechanischen Energie in der Entspannungseinrichtung (3) einstellbar ist.
7. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusammenführung (9) als ein Arbeitsmittelspeicher ausgebildet ist.
8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Entspannungseinrichtung (3) in Strömungsrichtung des Arbeitsmittels aufeinander folgend eine Düse (4) und eine Turbine (5) angeordnet sind.
9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Düse (4) und die Turbine (5) eine einzige bauliche Einheit bilden.
10. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Niedertemperaturquelle eine Temperatur von weniger als 400°C aufweist.

Claims

1. Method for conversion of heat energy from a low-temperature heat source (20) to mechanical energy in a closed circuit having the following steps:
 - step 1: increasing the pressure of a liquid agent,
 - step 2: heating of the increased-pressure, liquid agent by transferring heat from the low-temperature heat source (20) to the agent, without vaporizing the agent,
 - step 3: expanding the heated, liquid agent,

wherein an expanded, partially vaporized agent with a vapor phase and a liquid phase is produced by partial vaporization of the agent, and heat energy in the agent is converted to mechanical energy,

- step 4: condensing the vapor phase produced in step 3 in a condenser (8) in order to produce the liquid agent from step 1,

characterized in that

- in the case of the expanded, partially vaporized agent produced in step 3, the liquid phase is separated from the vapor phase immediately before the condenser (8)

- only the vapor phase is supplied to the condenser (8),

- the condensed vapor phase and the liquid phase are combined after the condenser (8) but before step 1, in order to produce the liquid agent.

2. Method according to Claim 1

characterized in that the pressure of the agent in the condenser (8) is set to an optimum between the droplets of the liquid phase in the vapor phase of the agent being as small as possible and the mechanical energy produced being as great as possible in step 3.

3. Method according to Claim 1 or 2,

characterized in that the condensed vapor phase and the liquid phase are combined in an agent reservoir (9).

4. Method according to one of the preceding claims **characterized in that** the low-temperature source is at a temperature of less than 400°C.

5. Apparatus (1) for conversion of heat energy from a low-temperature heat source (20) to mechanical energy in a closed circuit, comprising

- a pump (10) for increasing the pressure of a liquid agent,

- a heat exchanger (2) for heating the increased-pressure, liquid agent by transferring heat from the low-temperature heat source (20) to the agent, without vaporizing the agent,

- an expansion device (3) for expanding the heated, liquid agent, wherein an expanded, partially vaporized agent with a liquid phase and a vapor phase can be produced by partial vaporization of the agent in the expansion device (3), and heat energy in the agent can be converted to mechanical energy,

- a condenser (8) for condensation of the vapor phase of the partially vaporized agent in order to produce the liquid agent,

characterized by

- a separator (7) for separation of the liquid phase from the vapor phase of the expanded, partially vaporized agent, wherein the separator (7) is arranged immediately before the condenser (8) in the flow direction of the agent, and is connected to the condenser (8) in order to supply the vapor phase to the condenser (8), 5
 - a combination means (9) for combining the liquid phase and the condensed vapor phase of the partially vaporized agent, wherein the combination means (9) is arranged before the pump (10) in the flow direction of the agent and is connected to the separator (7) in order to supply the liquid phase, and to the condenser (8) in order to supply the condensed vapor phase, to the combination means (9). 10
6. Apparatus (1) according to Claim 5, 20
characterized in that the pressure of the agent in the condenser (8) can be set to an optimum between the droplets of the liquid phase in the vapor phase of the agent being as small as possible and the mechanical energy produced being as great as possible 25 in the expansion device (3).
 7. Apparatus (1) according to one of Claims 5 and 6, 30
characterized in that the combination means (9) is in the form of an agent reservoir.
 8. Apparatus (1) according to one of Claims 5 to 7, 35
characterized in that a nozzle (4) and a turbine (5) are arranged successively in the flow direction of the agent in the expansion device (3).
 9. Apparatus (1) according to one of Claims 5 to 8, 40
characterized in that the nozzle (4) and the turbine (5) form a single physical unit.
 10. Apparatus (1) according to one of Claims 5 to 9, 45
characterized in that the low-temperature source is at a temperature of less than 400°C.

Revendications

1. Procédé de transformation de l'énergie thermique d'une source (20) de chaleur à basse température en énergie mécanique en un cycle fermé, comprenant les stades suivants : 50
 - stade 1 : élévation de la pression d'un fluide de travail liquide,
 - stade 2 : échauffement du fluide de travail liquide, dont la pression a été augmentée, par transfert de chaleur de la source (20) de chaleur à basse température au fluide de travail 55

sans évaporation du fluide de travail,

- stade 3 : détente du fluide de travail liquide échauffé, dans lequel, par évaporation partielle du fluide de travail, on produit un fluide de travail détendu et évaporé partiellement ayant une phase vapeur et une phase liquide et on transforme de l'énergie thermique du fluide de travail en de l'énergie mécanique,
- stade 4 : condensation de la phase vapeur produite au stade 3 dans un condenseur (8) pour produire le fluide de travail liquide du stade 1,

caractérisé en ce que

- pour le fluide de travail produit au stade 3 détendu et évaporé partiellement, on sépare, juste avant le condenseur (8), la phase liquide de la phase vapeur,
 - on n'envoie au condenseur (8) que la phase vapeur,
 - on rassemble la phase vapeur condensée et la phase liquide, après le condenseur (8), mais avant le stade 1, pour produire le fluide de travail liquide.
2. Procédé suivant la revendication 1, 50
caractérisé en ce que l'on règle la pression du fluide de travail dans le condenseur (8) à un optimum entre une dimension aussi petite que possible des gouttelettes de la phase liquide dans la phase vapeur du fluide de travail et une énergie mécanique produite aussi grande que possible dans le stade 3.
 3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, 55
caractérisé en ce que l'on effectue la réunion de la phase vapeur condensée de la phase liquide dans un accumulateur (9) de fluide de travail.
 4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, 60
caractérisé en ce que la source à basse température a une température de moins de 400°C.
 5. Installation (1) de transformation de l'énergie thermique d'une source (20) de chaleur à basse température en énergie mécanique en un cycle fermé, comprenant 65

- une pompe (10) pour élever la pression d'un fluide de travail liquide,
- un échangeur de chaleur (2) pour échauffer le fluide de travail liquide, dont la pression a été élevée, par transfert de chaleur de la source (20) de chaleur à basse température au fluide de travail, sans évaporation du fluide de travail,
- un dispositif (3) de détente pour détendre le fluide de travail liquide échauffé, dans laquelle, dans le dispositif (3) de détente, par évapora-

tion partielle du fluide de travail, un fluide de travail détendu, évaporé partiellement et ayant une phase liquide et une phase vapeur peut être obtenu et de l'énergie thermique du fluide de travail peut être transformée en énergie mécanique,

- un condenseur (8) de condensation de la phase vapeur du fluide de travail évaporé en partie pour produire le fluide de travail liquide,

ature a une température de moins de 400°C.

caractérisée par

- un séparateur (7) pour séparer la phase liquide de la phase vapeur du fluide de travail détendu et évaporé partiellement, le séparateur (7) étant monté, dans le sens du courant du fluide de travail, juste avant le condenseur (8), et communiquant avec le condenseur (8) pour envoyer la phase vapeur au condenseur (8),

- un dispositif (9) de réunion pour réunir la phase liquide et la phase vapeur condensée du fluide de travail évaporé partiellement, le dispositif (9) de réunion étant monté, dans le sens du courant du fluide de travail, en amont de la pompe (10) et communiquant avec le séparateur (7) pour l'apport de la phase liquide et avec le condenseur (8) pour l'apport de la phase vapeur condensée au dispositif (9) de réunion.

6. Installation (1) suivant la revendication 5,
caractérisée en ce que la pression du fluide de travail dans le condenseur (8) peut être réglée à un optimum entre une dimension aussi petite que possible de gouttelettes de la phase liquide dans la phase vapeur du fluide de travail et une énergie mécanique pouvant être obtenue aussi grande que possible dans le dispositif (3) de détente.
7. Installation (1) suivant l'une des revendications 5 ou 6,
caractérisée en ce que le dispositif (9) de réunion est constitué sous la forme d'un accumulateur de fluide de travail.
8. Installation (1) suivant l'une des revendications 5 à 7,
caractérisée en ce que, dans le dispositif (9) de détente, sont disposées, en se succédant l'une à l'autre dans le sens du courant du fluide de travail, une buse (4) et une turbine (5).
9. Installation (1) suivant l'une des revendications 5 à 8,
caractérisée en ce que la buse (4) et la turbine (5) forment une unité unique de construction.
10. Installation (1) suivant l'une des revendications 5 à 9,
caractérisée en ce que la source à basse tempé-

FIG 1

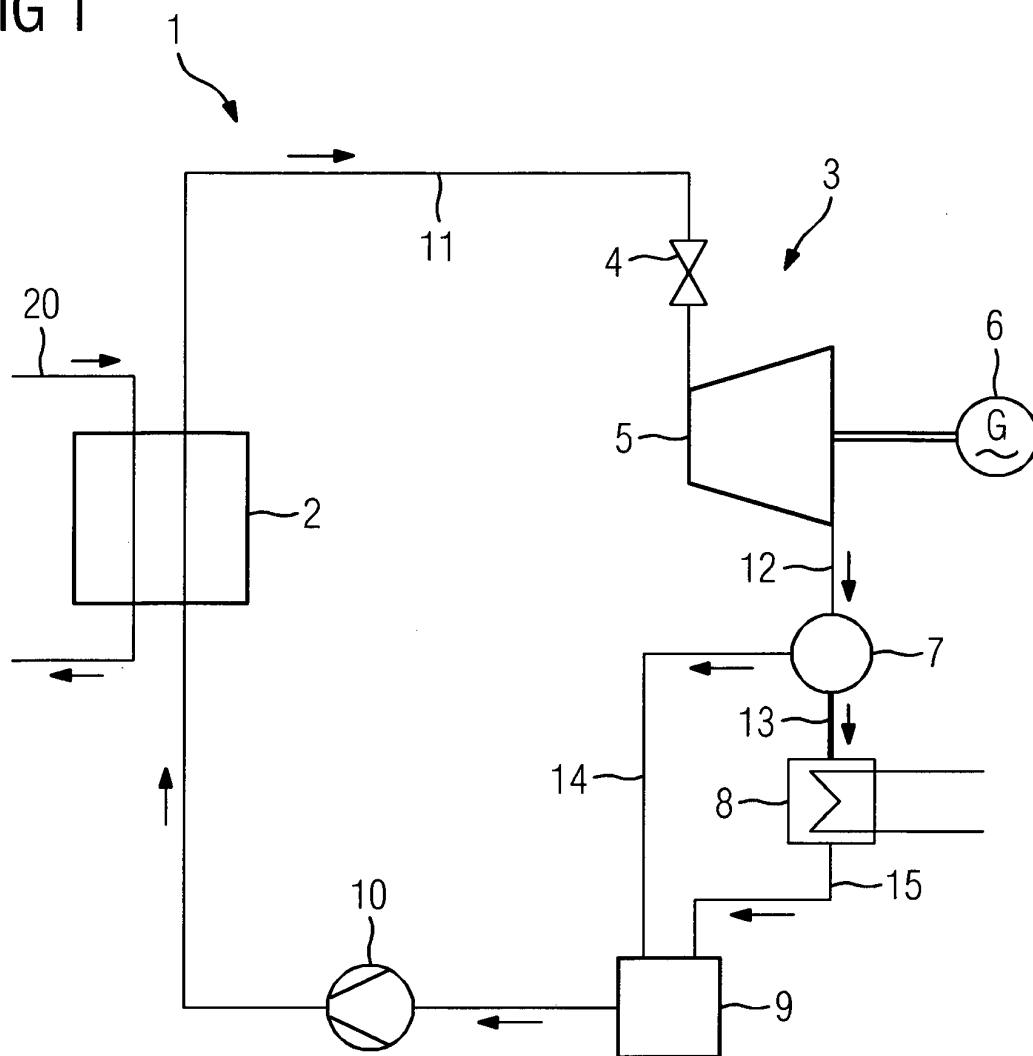
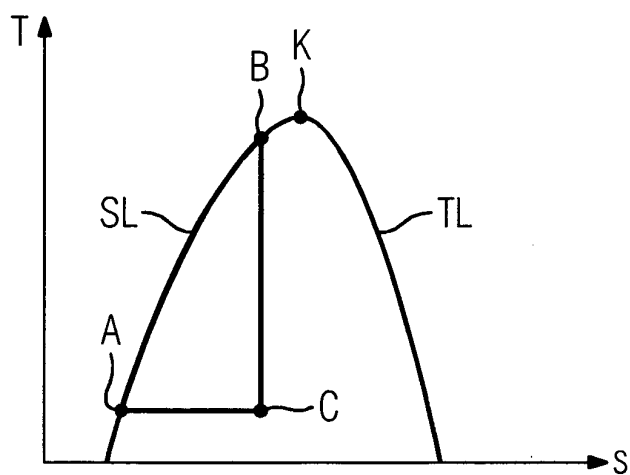


FIG 2



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 7093503 B1 [0001] [0003]
- DE 10361223 A1 [0001]
- WO 2005031123 A1 [0006]
- EP 0485596 A1 [0007]