

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. März 2009 (12.03.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/030283 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/062147

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. November 2007 (09.11.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 041 457.0 31. August 2007 (31.08.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LENGERT, Jörg [DE/DE]; Schwalbenstr. 6, 91475 Lonnerstadt-Ailsbach (DE). LENGERT, Martina [DE/DE]; Schwalbenstr. 6, 91475 Lonnerstadt-Ailsbach (DE). RUHSLAND,

Kathrin [DE/DE]; Nordring 16, 91325 Adelsdorf / OT Aisch (DE). WEINBERG, Norbert [DE/DE]; Kastanienweg 25, 91083 Baiersdorf (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

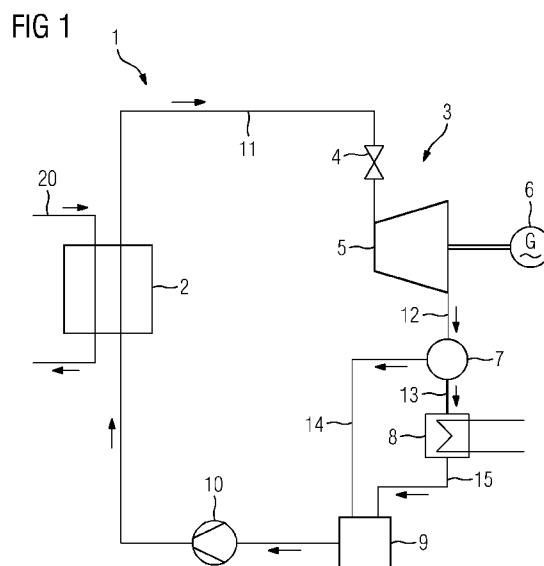
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONVERTING THERMAL ENERGY OF A LOW TEMPERATURE HEAT SOURCE INTO MECHANICAL ENERGY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR UMWANDLUNG DER WÄRMEENERGIE EINER NIEDER-TEMPERATUR-WÄRMEQUELLE IN MECHANISCHE ENERGIE



(57) Abstract: The invention relates a method and to a device (1) for converting thermal energy of a low temperature heat source (20) into mechanical energy in a closed circuit. The method consists of heating a liquid working agent by transmitting heat from the low temperature source (20) and partially evaporating it in an expansion device (3). According to the invention, erosion to the condenser (8) for condensing the partially evaporated working agent can be prevented by separating the liquid phase from the evaporator phase in the partially evaporated working agent that is directly in front of the condenser (8), and only the evaporator phase is transferred to the condenser (8) for condensing and subsequently, the condensed evaporator phase and the liquid phase are merged.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/030283 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung (1) zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperatur-Wärmequelle (20) in mechanische Energie in einem geschlossenen Kreislauf, bei dem ein flüssiges Arbeitsmittel durch Übertragung von Wärme von der Niedertemperaturquelle (20) erwärmt und in einer Entspannungseinrichtung (3) teilweise verdampft wird, kann eine Erosion eines Kondensators (8) zur Kondensation des teilweise verdampften Arbeitsmittels dadurch verhindert werden, dass bei dem teilweise verdampften Arbeitsmittel unmittelbar vor dem Kondensator (8) die flüssige Phase von der dampfförmigen Phase getrennt wird, nur die dampfförmige Phase dem Kondensator (8) zur Kondensation zugeführt wird und anschließend die kondensierte dampfförmige Phase und die flüssige Phase zusammengeführt werden.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Umwandlung der Wärmeenergie einer Niedertemperatur-Wärmequelle in mechanische Energie

5

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

10 bekannt.

Zur Nutzung der Wärmeenergie von Niedertemperatur-Wärmequellen, wie z.B. von Geothermalquellen, gasförmiger, dampf-

15 förmiger 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 Wärme-

20 energie 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.

25

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 dampf-

30 förmigen Phase erzeugt und Wärmeenergie des Arbeitsmittels in mechanische Energie umgewandelt wird.

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.

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 ablaufenden 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.

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.

10 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
15 zugeführt, der lediglich zur Messung der Flüssigkeitsanteile in dem Dampf dient.

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

Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren
25 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.

30 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 Arbeitsmittels, 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.

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.

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.

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.

5 Da ein derartiger Speicher in vielen Kreisläufen ohnehin vorhanden ist, kann auf ein zusätzliches Bauelement für die Zusammenführung der beiden Phasen verzichtet werden.

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

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist einen Separator zur Trennung der flüssigen Phase von der dampfförmigen Phase des
15 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)
20 (gen) 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.
30

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
35 Arbeitsmittels und einer möglichst großen erzeugbaren mechanischen Energie in der Entspannungseinrichtung einstellbar.

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

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.

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

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

30

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

35

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.

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.

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.

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.

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
5 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
10 5, z.B. in einer Ringkonfiguration, auch mehrere Düsen 4 angeordnet sein, die parallel von dem Arbeitsmittel durchströmbar sind.

Die Turbine 5 ist ausgangsseitig über eine Leitung 12 mit dem
15 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
20 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.

25 Der Kondensator 8 dient zum Erzeugen des flüssigen Arbeitsmittels durch Kondensation des teilweise verdampften Arbeitsmittels.

Der Kondensattank 9 dient zur Zusammenführung der flüssigen
30 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
35 Phase und über eine Leitung 15 mit dem Kondensator 8 zur Zufuhr der kondensierten dampfförmigen Phase zu dem Kondensattank 9 verbunden.

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.

5

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.

10

In einem dritten Schritt wird in der Entspannungseinrichtung 3 das erwärmte, flüssige Arbeitsmittels 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 Wasser-Dampf-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.

15

20

25

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.

30

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

35

flüssige) Phase über die Leitung 15 dem Kondensattank 9 zugeführt.

Die abgetrennte flüssige Phase wird dagegen über die Leitung
5 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.

10 Flüssiges Arbeitsmittel aus dem Kondensattank 9 wird mit Hilfe
der Pumpe 10 auf erhöhten Druck gebracht und in den Wärme-
übertrager 2 gepumpt, wodurch der Kreislauf geschlossen
wird.

15 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.

20 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
25 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:

- 5 - 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
10 des Arbeitsmittels,
- Schritt 3: Entspannen des erwärmten, flüssigen Arbeitsmittels, wobei durch teilweises Verdampfen des Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit
15 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
20 flüssigen Arbeitsmittels von Schritt 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - das bei dem in dem Schritt 3 erzeugten entspannten, teilweise verdampfte Arbeitsmittel unmittelbar vor dem Kondensator (8) die flüssige Phase von der dampfförmigen Phase
25 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
30 Erzeugung des flüssigen Arbeitsmittels zusammengeführt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der Druck des Arbeitsmittels in
35 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 er-

zeugter mechanischer Energie in dem Schritt 3 eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder ,

5 dadurch gekennzeichnet, dass die Zusammenführung der kondensierten dampfförmige Phase und der flüssigen Phase in einem Arbeitsmittelspeicher (9) erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 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

- 15
- eine Pumpe (10) zum Erhöhen des Drucks eines flüssigen Arbeitsmittels,
 - einen Wärmeübertrager (2) zum Erwärmen des druckerhöhten, flüssigen Arbeitsmittels durch Übertragung von Wärme von

20

 - 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

25

 - Arbeitsmittels ein entspanntes, teilweise verdampftes Arbeitsmittel mit einer flüssigen und einer dampfförmige Phase erzeugbar und Wärmeenergie des Arbeitsmittels in mechanische Energie umwandelbar ist,
 - einen Kondensator (8) zur Kondensation der dampfförmigen

30

 - Phase des teilweise verdampften Arbeitsmittels zum Erzeugen des flüssigen Arbeitsmittels,
- gekennzeichnet durch
- einen Separator (7) zur Trennung der flüssigen Phase von

35

 - der dampfförmige 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.

FIG 1

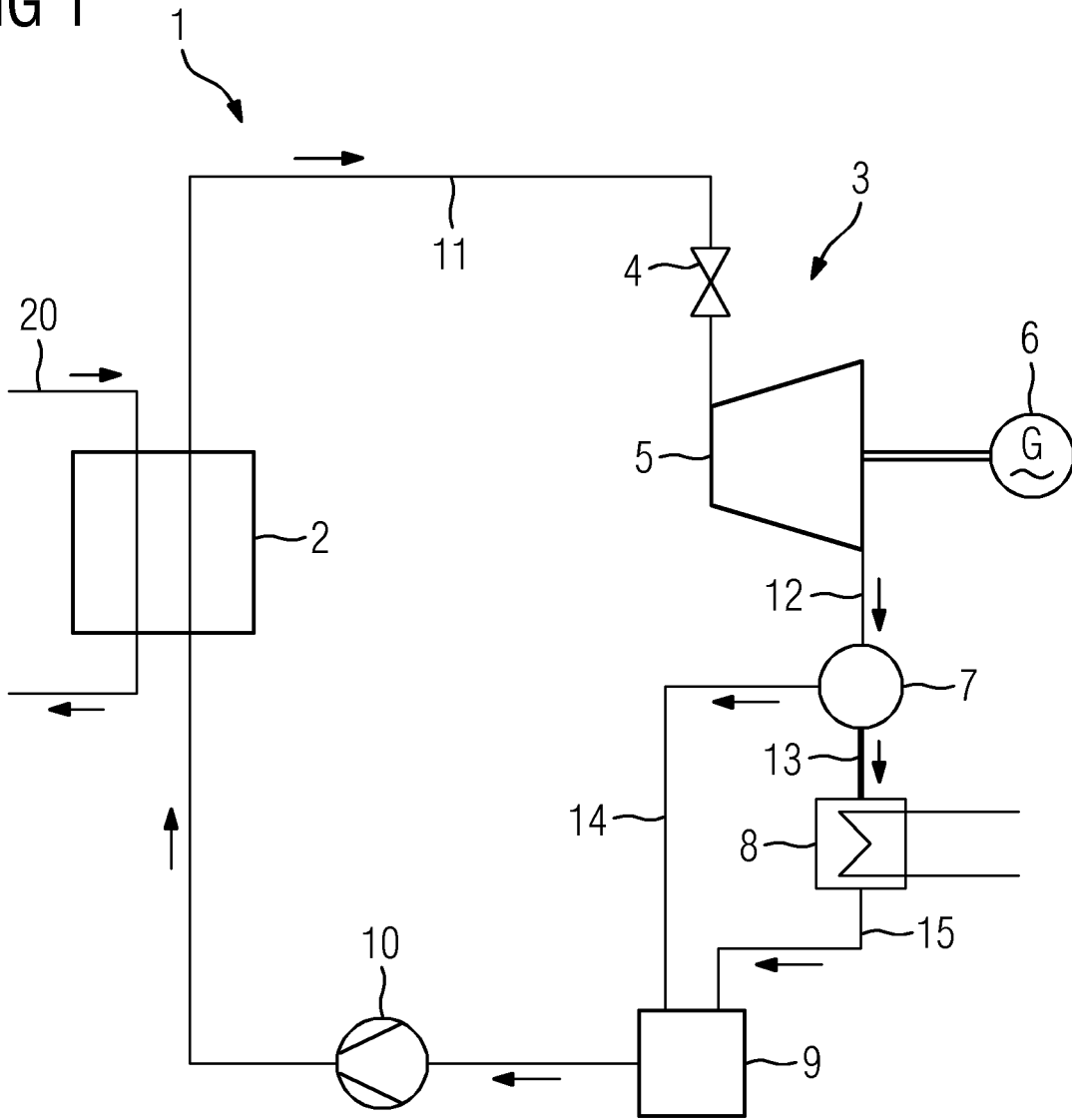


FIG 2

