

(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
9. August 2007 (09.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/088194 A2

(51) **Internationale Patentklassifikation:**
Nicht klassifiziert

(21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2007/051002

(22) **Internationales Anmeldedatum:**
2 Februar 2007 (02.02.2007)

(25) **Einreichungssprache:** Deutsch

(26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch

(30) **Angaben zur Priorität:**
10 2006 004 836 9 2 Februar 2006 (02.02.2006) DE

(71) **Anmelder und**

(72) **Erfinder:** ECKERT, Frank [DE/DE], Unterlemmtz Nr
3, 07356 Bad Lobenstein (DE)

(74) **Anwalt:** KRUSPIG, Volkmar, Meissner, Bolte & Partner,
Postfach 86 06 24, 81633 München (DE)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FT,
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, LV, LY, MA, MD, 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,
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,
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 ver
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben Codes und der anderen Ab
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT Gazette verwiesen

(54) **Title:** ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) TURBOGENERATOR

(54) **Bezeichnung:** ORGANIC RANKINE ZYKLUS (ORC) TURBOGENERATOR

(57) **Abstract:** The invention relates to a cooling process for the driving end of a Stator of a turbogenerator of ORC Systems, said
cooling process taking place by means of the condensate of the working medium in the ORC process

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Kühlung der Antreibsseite eines Stators für einen Turbogenerator für ORC
Anlagen, wobei die Kühlung durch das Kondensat des Arbeitsmediums im ORC Prozess erfolgt



WO 2007/088194 A2

Organic Rankine Zyklus (ORC) - Turbogenerator

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Organic Rankine Zyklus (ORC)-Turbogenerator in einer axialen Anordnung zwischen einem Turbinen-Dampfgehäuse und einem Generatorabschnitt nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Der Organic Rankine Zyklus (ORC für engl. organic rankine cycle) ist ein thermodynamisches Verfahren zum Betrieb von Dampfturbinen mit einem anderen Arbeitsmittel als Wasser bzw. Wasserdampf. Als Arbeitsmedium werden bei diesem Kreisprozess meist organische Flüssigkeiten mit einer niedrigen Verdampfungstemperatur verwendet. Ein solches Verfahren wird vor allem dann eingesetzt, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zu niedrig für eine mit Wasserdampf angetriebene Turbine ist. Ein derartiger Zyklus wird daher vorwiegend zur Stromerzeugung mit Hilfe der Geothermie, einer Kraft-Wärme-Kopplung, bei Solarteichkraftwerken oder Meereswärmekraftwerken eingesetzt.

Bei kleinen Anlagen mit einer Leistung von weniger als 500 kW sind die spezifischen Kosten einer Turbinen-Generatoreinheit in einer herkömmlichen Bauform zu groß. Im Gegensatz zu Dampfturbinen laufen die entsprechenden thermodynamischen Kreisprozesse bei einer wesentlich niedrigeren Temperatur ab. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Turbine und den Generator zu einer Einheit zusammenzufassen. Dazu wird in einer bekannten Ausführungsform auf eine axiale Anordnung aus Turbine und Generator zurückgegriffen. Dabei ist das Schaufelrad der Turbine direkt auf der Generatorwelle befestigt. Die Befestigung wird bevorzugt als eine sich selbst zentrierende Befestigung, z.B. eine Hirtverzahnung ausgeführt. Die Turbinenwelle wird hierbei mittels einer Gleitringdichtung nach außen hin abgedichtet und führt direkt in den dahinter angekoppelten Generator.

Derartige Ausführungsformen weisen jedoch das Problem auf, dass das Arbeitsmedium vor allem bei hohen Drehzahlen der Turbine durch die Gleitringdichtung an der Verbindungsstelle zwischen Turbine und Generator infolge

von Materialermüdungen und daraus resultierenden Lecks der Gleitringdichtung nach außen dringen kann. Derartige Turbogeneratoren erfordern somit einen erhöhten Wartungsaufwand und damit einhergehende größere Unterhaltungskosten.

Es besteht somit die Aufgabe, einen Turbogenerator zum Einsatz in einem ORC-Kreisprozess anzugeben, der einen robusten, wartungsarmen und auch bei sehr hohen Drehzahlen leckagesicheren Aufbau aufweist. Der geforderte Turbogenerator soll außerdem eine optimale innere Kühlung bei einem möglichst kompakten und platzsparenden Aufbau aufweisen.

Die Aufgabe wird mit einem ORC-Turbogenerator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, wobei die Unteransprüche zweckmäßige bzw. vorteilhafte Ausführungsformen enthalten.

Erfindungsgemäß ist der ORC-Turbogenerator dadurch gekennzeichnet, dass der Generatorabschnitt ein zur Umgebung hin dichtes und druckfest ausgebildetes Statorgehäuse in Verbindung mit einem in Richtung des Abdampfraumes des Turbinenabschnittes offenen Läuferraum aufweist.

Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Ausführungsformen, bei denen der Turbinenabschnitt und der Generatorabschnitt strikt voneinander getrennt sind, bildet bei dem erfindungsgemäßen ORC-Turbogenerator der Stator des Generatorabschnittes zusammen mit der Außenhülle des Turbinenabschnittes eine durchgängige und zur Umgebung hin drucksichere und absolut dichte Hülle, während der Läuferraum im Inneren des Stators mit dem Abdampfraum in Verbindung steht. Damit entfällt einerseits die Gleitlagerdichtung vollständig, wobei sich der Dichtungsaufwand an der Turbinenwelle beträchtlich verringert und höhere Drehzahlen des Turbogenerators erreicht werden können. Die Luftreibung im Läuferinnenraum zwischen Läufer und Stator wird durch den im Abdampfraum des Turbinenabschnittes herrschenden Unterdruck minimiert, wodurch sich die Laufleistung des Turbogenerators zusätzlich erhöht.

Die Lagerung einer Generatorwelle ist zweckmäßigerweise in Form mindestens eines durch das Kondensat des ORC-Arbeitsmittels geschmierten Gleitlagers ausgebildet. Das Gleitlager dient zur Lagerung sowohl des Läufers im Generatorabschnitt, als auch des im Turbinenabschnitt angeordneten Turbinenläufers. Durch den Einsatz des kondensierten und sich in der Dampfphase wieder selbst von Verunreinigungen scheidenden ORC-Arbeitsmediums als Schmiermittel wird ein auch nach längeren Benutzungszeiten hochreiner und ein autark wirkender Schmiermittelkreislauf geschaffen.

Die Kühlung des Generatorabschnittes ist in Form einer durch das Kondensat des ORC-Arbeitsmediums durchströmten Kanalanordnung innerhalb des Läufers und/oder Stators ausgebildet. Dadurch wird zusätzlich ein hochreiner Kühlmittelkreislauf gebildet.

Der Läufer weist bei einer vorteilhaften Ausführungsform eine innerhalb der Generatorwelle eingebrachte zentrische Bohrung mit einem innerhalb der Bohrung stehenden, das Kondensat einleitenden Kühlrohr auf. Durch diese vorteilhafte Ausgestaltung wird ein Heißlaufen des Läufers durch eine Wärmeabfuhr durch das innerhalb des Läufers strömende ORC-Kondensat verhindert.

Zusätzlich dazu ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung mindestens eine, die zentrische Bohrung im Läufer mit der Gleitfläche des Gleitlagers verbindende und das Kondensat von der zentrischen Bohrung in das Gleitlager zuführende Gleitlagerbohrung vorgesehen. Die Schmierung des Gleitlagers wird durch diese Ausbildung mit dem Kühlmittelkreislauf innerhalb des Läufers gekoppelt, wobei der Läufer gekühlt und das Gleitlager gezielt geschmiert wird.

Zusätzlich dazu ist eine thermische Entkoppelung mindestens zwischen dem Stator und dem Dampfgehäuse des Turbinenabschnittes in Form mindestens eines radial von einem Kühlmittel durchströmten, im Statorgehäuse vorgesehenen Hohlraumes zweckmäßig. Diese Ausgestaltung dient der Kühlung des Stators, insbesondere der nahe dem Dampfraum des Turbinenabschnittes gelegenen Statorabschnitte und einer Verhinderung einer thermischen Überlastung des Stators und damit des Generatorabschnittes.

Das den Hohlraum durchströmende Kühlmittel kann ebenfalls das Kondensat des ORC-Arbeitsmittels sein. In diesem Fall wird das Arbeitsmittel in dem Arbeitsmittelkreislauf zum Antreiben der Turbine und in dem Kühl- und Schmiermittelkreislauf ungetrieben werden.

Der erfindungsgemäße ORC-Turbogenerator soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit einer Figur näher erläutert werden. Es werden für gleiche bzw. gleich wirkende Teile die selben Bezugszeichen verwendet.

Für eine verständlichere Darstellung wird der Turbogenerator bei der folgenden Erläuterung in einen Generatorabschnitt A und einen Turbinenabschnitt B unterteilt. Der gesamte Turbogenerator weist jedoch einen kompakten und integrierten Aufbau auf, wobei die Abschnitte A und B zusammen eine in sich geschlossene Vorrichtung bilden.

Der Turbinenabschnitt besteht aus einem Turbinengehäuse 1 mit einem innerhalb des Gehäuses drehbar gelagerten Laufrad. Das Laufrad weist ein Laufradunterteil 2, eine Reihe von Laufradschaufeln 3 und ein Laufraddeckband 4 auf. Über eine Düse wird das Laufrad mit dem dampfförmigen Arbeitsmedium beaufschlagt. Die Düse besteht aus einem Düsengrundkörper 5, einer den Strom des Arbeitsmediums optimal leitenden Düsenöffnung 6 und einem Düsenabstandshalter 7 zum Arretieren der Düse in einer zweckmäßigen strömungsgünstigen Stellung zum Laufrad im Turbinenabschnitt. Ein Befestigungsbolzen 8 gewährleistet einen sicheren Sitz des Laufrades auf einer Welle 17, deren Aufbau weiter unten näher dargestellt wird.

Bei dem hier gezeigten Beispiel wird das Turbinenlaufrad tangential angetrieben, während das Arbeitsmedium den Turbinenabschnitt in axialer Richtung verläßt. Die Zuführung des Arbeitsmediums erfolgt über eine Zudampföffnung 9, die in einen Zudampfkanal 10 mündet. Der Zudampfkanal 10 leitet das heiße, dampfförmige Arbeitsmedium in die erwähnte Düsenöffnung 6 weiter. Nach dem Verlassen des Turbinenlaufrades gelangt das Arbeitsmedium in

einem Abdampfdiffusor 11, der über eine Abdampföffnung 30 das Arbeitsmedium nach außen ableitet.

Der Generatorabschnitt A schließt sich über ein Lagerschild 12 an den Turbinenabschnitt B an. Über eine Druckausgleichsbohrung 13 ist das Innere des Generatorabschnittes A, insbesondere dessen Läuferaum 22, mit dem Inneren des Turbinenabschnittes B, insbesondere dem Raum des Laufrades, verbunden. Sowohl das Laufrad im Turbinenabschnitt, als auch der Läufer des Generatorabschnittes sind in einem gemeinsamen Gleitlager 14 gelagert und sitzen auf der Generatorwelle 17 auf. Die Generatorwelle 17 ist bis in den Turbinenabschnitt B geführt. Das Laufrad des Turbinenabschnittes ist dort über den bereits genannten Befestigungsbolzen 8 mit der Welle 17 verbunden.

Die Generatorwelle 17 weist eine oder mehrere Gleitlagerbohrungen 15 auf, die mit einer zentrischen Bohrung 16 im Inneren der Generatorwelle in Verbindung stehen. Über die zentrische Bohrung 16 wird das Kondensat des ORC-Arbeitsmediums geführt, wobei die Generatorwelle 17 gekühlt und gleichzeitig die Lauffläche des Gleitlagers 14 durch das über die Gleitlagerbohrung 15 heraus gepresste Kondensat geschmiert wird. Die zentrische Bohrung 16 wird über ein innerhalb der Bohrung stehendes Kühlrohr 27 beschickt. Das darin befindliche Kondensat gelangt unter Druck sowohl auf das Gleitlager 14 auf der Antriebsseite des Generatorabschnittes, als auch auf ein vergleichbares zweites Lager 14b auf der Generatorseite.

Das Kondensat wird nach dem Durchlaufen des Gleitlagers 14 über den Abdampfdiffusor 11 nach außen mit dem Strom des Arbeitsmediums abgeleitet.

In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Generatorabschnitt als ein permanent erregter Synchrongenerator ausgebildet. Der Läufer des Generators besteht dabei aus einer Reihe von auf die Welle 17 aufgesetzten Permanentmagneten 18. Die Permanentmagnete können beispielsweise aufgeklebt oder mit Kohlefaserbandagen gesichert sein. Die Statorwicklung besteht in dem dargestellten Ausführungsbeispiel aus einer Ständerwicklung 19, die mit einem Verguss 20 versehen ist. Der Stator und damit der gesamte Generator-

abschnitt ist in einem Ständergehäuse 21 untergebracht, das direkt an den Turbinenabschnitt B bzw. dessen Gehäuse 1 anschließt und mit diesem dicht verbunden ist. Wie erwähnt wird der Läuferaum 22 durch die Druckausgleichsbohrung 13 fortlaufend in Richtung des Turbinenabschnittes, insbesondere des Turbineninnenraums, entlüftet. Infolge der dort herrschenden Strömungsmechanik bildet sich ein teilweiser Unterdruck aus, der zu einer Verringerung der Luftreibung im Läuferaum führt.

Das Ständergehäuse 21 ist für eine thermische Entkopplung des Generatorabschnitts A vom Turbinenabschnitt B gekühlt. Dadurch werden die Köpfe der Statorwicklung im Generatorabschnitt vor einer Überhitzung geschützt. Hierzu weist das Ständergehäuse mindestens im Anschlussbereich zum Turbinenabschnitt, also auf der Antriebsseite des Generators, einen ringförmigen, radial von einem Kühlmittel durchströmten Hohlraum 23 auf. Dem Hohlraum 23 schließt sich in diesem Ausführungsbeispiel die eigentliche Statorkühlung 24 an, die sich mindestens abschnittsweise über die Mantelfläche des Ständergehäuses erstreckt und von dem Kühlmittel in axialer Richtung durchfließen wird. Die Komponenten 23 und 24 werden von einem Kühlmittelvorlauf 25 und einem Kühlmittelrücklauf 26 beschickt bzw. entleert.

Die zentrische Bohrung 16 wird wie beschrieben von dem Kühlrohr 27 beschickt. Das darin strömende Kühlmittel wird in die zentrische Bohrung gedrückt und tritt über die Gleitlagerbohrungen 15 und 15b in die Gleitlager 14 und 14b aus. Das Kühlmittel, für das wie beschrieben das Kondensat des Arbeitsmediums verwendet wird, tritt aus dem Gleitlager 14 in den Läuferaum 22 und wird von dort teilweise in den Turbinenabschnitt B abgesaugt oder über einen Kühlmittelablauf 29 aus dem Läuferaum entfernt. Das innerhalb des Gleitlagers 14b vorhandene Kondensat verlässt den Bereich der Generatorwelle 17 über einen Rücklauf 28. Die Anschlüsse 27, 28 und 29 bilden Abschnitte eines externen, dem Turbogenerator zugeordneten Kühlmittelkreislaufs, an den auch die Zu- und Abläufe 25 und 26 angeschlossen sein können. Bei der Verwendung des Kondensates des Arbeitsmediums als Kühl- und Schmiermittel des Turbogenerators liegt es nahe, die Anschlüsse für den Zu- und Rücklauf des Kühlmittels an den Vorratsbehälter des kondensierten

Arbeitsmediums anzuschließen. Die für den thermodynamischen Kreisprozess notwendige Speisepumpe erzeugt in diesem Fall den für den Kühl- und Schmiermittelkreislauf erforderlichen Druck. Das Kondensat selbst ist weitgehend frei von Verunreinigungen, da es im thermodynamischen Kreisprozess eine Dampfphase durchläuft, bei dem sich das Arbeitsmedium von den eingetragenen Verunreinigungen durch Destillationsprozesse trennt.

Der Generator weist weiterhin die üblichen elektrischen Kabelanschlüsse auf. In dem gezeigten Beispiel sind diese aus der Statorwicklung über eine Kabelabschottung 31 in einen Klemmkasten 32 mit einer darin angebrachten üblichen elektrischen Schaltung, beispielsweise einer Gleichrichterschaltung oder dergleichen geführt.

Es ist klar, dass im Rahmen fachmännischen Handelns an dem gezeigten Ausführungsbeispiel eine Reihe von Änderungen erfolgen können, ohne den erfindungsgemäßen Grundgedanken zu verlassen. Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Bezugszeichenliste

- A Generatorabschnitt
- B Turbinenabschnitt
- 1 Turbinengehäuse
- 2 Laufradunterteil
- 3 Laufradschaufeln
- 4 Laufraddeckband
- 5 Düsengrundkörper
- 6 Düsenöffnung
- 7 Düsenabstandshalter
- 8 Befestigungsbolzen
- 9 Zudampföffnung
- 10 Zudampfkanal
- 11 Abdampfdiffusor
- 12 Lagerschild

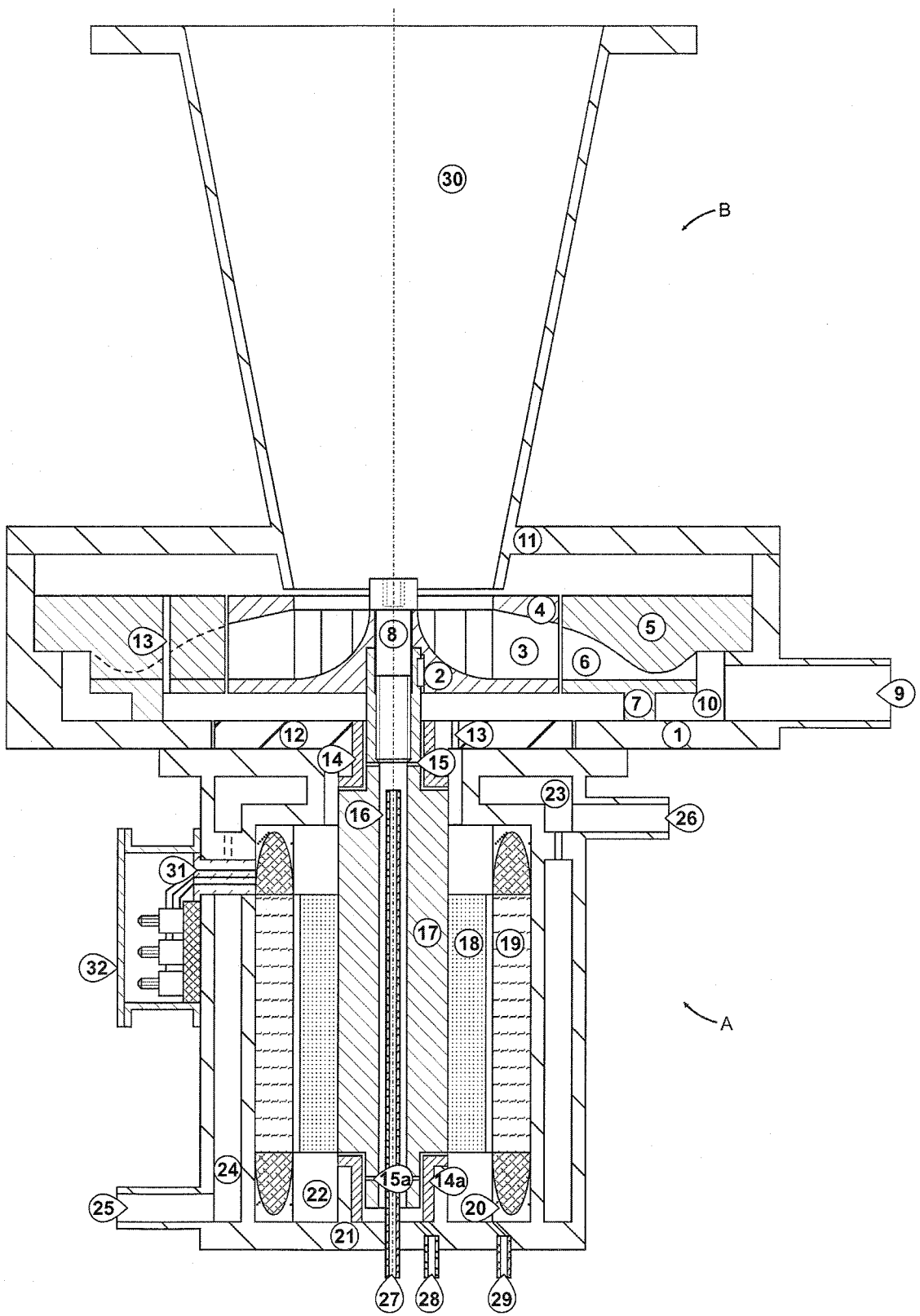
- 13 Druckausgleichsbohrung
- 14 Gleitlager
- 14b zweites Gleitlager
- 15 Gleitlagerbohrung
- 15b zweite Gleitlagerbohrung
- 16 zentrische Bohrung
- 17 Generatorwelle
- 18 Permanentmagnet
- 19 Ständerwicklung
- 20 Verguss
- 21 Ständergehäuse
- 22 Läuferraum
- 23 Hohlraum
- 24 Stator Kühlung
- 25 Kühlmittelvorlauf
- 26 Kühlmittelrücklauf
- 27 Kühlrohr
- 28 Rücklauf
- 29 Kühlmittelablauf
- 30 Turbineabdampföffnung
- 31 Kabelabschottung
- 32 Klemmkasten

Patentansprüche

1. Organic Rankine Zyklus (ORC) - Turbogenerator in einer axialen Anordnung zwischen einem Generatorabschnitt (A) und Turbinenabschnitt (B), dadurch gekennzeichnet, dass der Generatorabschnitt ein zur Umgebung hin dichtes und druckfest ausgebildetes Statorgehäuse (21) mit einem in Richtung des Abdampfraumes (11) des Turbinenabschnitts offenen Läuferaum (22) aufweist.
2. Turbogenerator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein durch das Kondensat des ORC-Arbeitsmittels geschmiertes Gleitlager (14) zur Lagerung einer Generatorwelle (17) vorgesehen ist.
3. Turbogenerator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlung des Generatorabschnitts in Form einer durch das Kondensat des ORC-Arbeitsmediums durchströmten Kanalanordnung innerhalb des Läufers und/oder Stators ausgebildet ist.
4. Turbogenerator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer eine innerhalb der Generatorwelle (17) eingebrachte zentrische Bohrung (16) mit einem innerhalb der Bohrung stehenden, das Kondensat einleitenden Kühlrohr (27) aufweist.
5. Turbogenerator nach Anspruch 3 und 4, gekennzeichnet durch mindestens eine die zentrische Bohrung (16) mit der Gleitfläche des Gleitlagers (14) verbindende und das Kondensat von der zentrischen Bohrung in das Gleitlager zuführende Gleitlagerbohrung (15).
6. Turbogenerator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine thermische Entkopplung mindestens zwischen dem Stator und dem

Dampfgehäuse des Turbinenabschnittes in Form mindestens eines radial von einem Kühlmittel durchströmten, im Statorgehäuse (21) vorgesehenen Hohlraumes (23).

7. Turbogenerator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das den Hohlraum (23) durchströmende Kühlmittel das Kondensat des ORC-Arbeitsmediums ist.



Figur