



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.06.2022 Patentblatt 2022/26

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01K 27/00^(2006.01) F02G 1/043^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21216260.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01K 27/005; F02G 1/0435

(22) Anmeldetag: **21.12.2021**

(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
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **STADLER, Florian**
94209 Regen (DE)
• **DONAUBAUER, Thomas**
94469 Deggendorf (DE)

(74) Vertreter: **advotec.**
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft
Tappe mbB
Beethovenstrasse 5
97080 Würzburg (DE)

(30) Priorität: **22.12.2020 DE 102020134577**

(71) Anmelder: **UAS Messtechnik GmbH**
94234 Viechtach (DE)

(54) **ENERGIEWANDLER UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES THERMODYNAMISCHEN GLEICHRAUM-KREISPROZESSES**

(57) Die Erfindung betrifft einen Energiewandler (01) zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, mit einem Rotor (04), der drehbar auf einer Achse (03) in einem gasdichten Gehäuse (02) gelagert ist, wobei zwischen dem Außenumfang des Rotors (04) und dem Innenumfang des Gehäuses (02) ein ringförmiger Rotationsraum (05) gebildet ist, und wobei am Außenumfang des Rotors (04) mehrere Rotorscheaufeln (06) angeordnet sind, die den Rotationsraum (05) in mehrere druckdicht voneinander getrennte Druckkammern

(07) unterteilen, wobei im Gehäuse oder in der Achse (03) ein Überströmkanal (09) vorgesehen ist, mit dem das Arbeitsmedium (08) aus der Druckkammer (7a) am Ende des beheizten Umlaufabschnitts in die Druckkammer (07b) am Ende des gekühlten Umlaufabschnitts überströmen kann, und wobei die Strömung des überströmenden Arbeitsmediums (08) ein Drehmoment auf den Rotor (04) und/oder ein Laufrad im Düsenkanal überträgt.

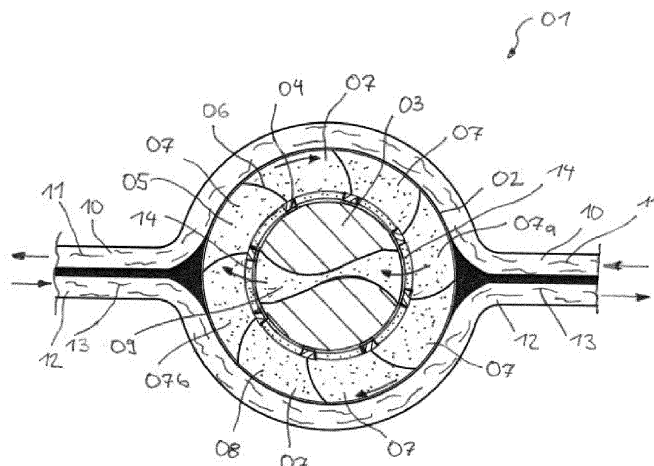


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Energiewandler zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betrieb eines thermodynamischen Gleichraum-Kreisprozesses zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie.

[0002] Gattungsgemäße Energiewandler kommen zum Einsatz, um ein zur Verfügung stehendes Temperaturgefälle zwischen einer Wärmequelle und einer Wärmesenke zu nutzen, um beispielsweise elektrischen Strom zu erzeugen. Insbesondere wenn lediglich ein relativ geringes Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zur Verfügung steht, können gattungsgemäße Energiewandler zum Einsatz kommen.

[0003] Der Energiewandler umfasst als Kernbauteil einen Rotor, der drehbar auf einer Achse in einem gasdichten Gehäuse gelagert ist. Zwischen dem Außenumfang des Rotors und dem Innenumfang des Gehäuses ist dabei ein ringförmiger Rotationsraum gebildet, wobei am Außenumfang des Rotors mehrere Rotorscheufeln angeordnet sind, die den Rotationsraum in mehrere druckdicht voneinander getrennte Druckkammern unterteilen. Diese Druckkammern rotieren dabei zusammen mit dem Rotor durch den Rotationsraum. Der Rotationsraum seinerseits ist mit einem gasförmigen oder verdampfbaren Arbeitsmedium gefüllt, wobei das Gehäuse gasdicht ausgebildet ist, so dass zwischen dem Arbeitsmedium im Rotationsraum und der Außenumgebung keinerlei Stoffaustausch stattfindet. Stattdessen durchläuft das Arbeitsmedium während des Betriebs des Energiewandlers einen geschlossenen Kreisprozess von Erwärmung und Abkühlung, um dadurch die thermische Energie in mechanische Energie umzuwandeln zu können.

[0004] Das Gehäuse selbst kann entlang eines beheizten Umlaufabschnittes des Rotors mit einem Heizmedium beheizt werden, so dass der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums in den Druckkammern, die entlang des beheizten Umlaufabschnittes rotieren, bei gleichbleibendem Volumen erhöht wird. Außerdem weist das Gehäuse neben dem beheizten Umlaufabschnitt auch einen gekühlten Umlaufabschnitt auf, um den Druck und/oder die Temperatur und/oder den Dampfgehalt des Arbeitsmediums in den Druckkammern bei seinem Umlauf entlang des gekühlten Umlaufabschnittes bei gleichbleibendem Volumen zu verringern. Im Ergebnis wird also das Arbeitsmedium beim Umlauf des Rotors in den Druckkammern zunächst entlang des beheizten Umlaufabschnittes beheizt und dadurch der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt erhöht. Anschließend wird beim Umlauf der Druckkammern entlang des gekühlten Abschnittes der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums verringert, so dass sich ein geschlossener thermodynamischer Kreisprozess ergibt, bei dem jedoch keinerlei Stoffaustausch des Arbeitsmediums mit der Außenatmosphäre stattfindet. Das heißt, dass die Masse des im Gehäuse vorhandenen Arbeitsmediums konstant bleibt und keinerlei Austausch mit der Außenumgebung stattfindet.

[0005] Um die entlang des beheizten Umlaufabschnittes auf das Arbeitsmedium übertragene thermische Energie in mechanische Energie umwandeln zu können, ist im Gehäuse oder in der Achse ein Überströmkanal vorgesehen, in dem das Arbeitsmedium aus der Druckkammer am Ende des beheizten Umlaufabschnittes in die Druckkammer am Ende des gekühlten Umlaufabschnittes überströmen kann. Durch die Strömung des Arbeitsmediums aus der Druckkammer mit dem höchsten Innendruck in die Druckkammer mit dem niedrigsten Innendruck wird ein Strömungsimpuls auf die Rotorscheufeln des Rotors oder die Schaufeln eines im Überströmkanal angeordneten Laufrades übertragen, so dass im Ergebnis ein Drehmoment auf den Rotor oder das Laufrad wirkt, so dass anschließend mechanische Energie abgenommen werden kann.

[0006] Der erfindungsgemäße Aufbau ist außerordentlich einfach in seiner Konstruktion und kann mit einfachen mechanischen Komponenten realisiert werden.

[0007] Welche Art von Rotorscheufeln am Rotor vorgesehen werden, ist grundsätzlich beliebig. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die Rotorscheufeln spiralabschnittsförmig vom Außenumfang des Rotors zum Innenumfang des Gehäuses verlaufen und durch die spiralabschnittsförmige Gestalt der Rotorscheufeln der Strömungsimpuls der überströmenden Arbeitsmedium-Strömung mit hoher Effektivität auf die Rotorscheufeln übertragen werden kann.

[0008] Um eine konstruktiv besonders einfache Verbindung entlang des Überströmkanals zwischen der Druckkammer mit dem höchsten Druck und der Druckkammer mit dem niedrigsten Druck zu realisieren, sollte der Rotor Überströmöffnungen aufweisen, durch die das Arbeitsmedium aus der Druckkammer mit dem höchsten Druck in dem die Achse des Energiewandlers durchgreifenden Überströmkanal einströmen kann. Auf der gegenüberliegenden Seite kann das Arbeitsmedium dann aus dem Überströmkanal durch die Überströmöffnungen im Rotor in die Druckkammer mit dem niedrigsten Druck überströmen. Das bedeutet also mit anderen Worten, dass in jeder Druckkammer eine Überströmöffnung vorgesehen ist, wobei diese Überströmöffnung einen Druckausgleich jedoch nur dann zulässt, soweit die Überströmöffnung über der Einströmöffnung beziehungsweise über der Ausströmöffnung des Überströmkanals liegt. Alle anderen Überströmöffnungen entlang des Umlaufs der Druckkammern werden durch entsprechende Dichteinrichtungen zwischen dem rotierenden Rotor und der gegenüberliegenden Lagerfläche am Außenumfang der Achse abgedichtet. Um einen möglichst effektiven Druckausgleich zu realisieren, sollte die offene Querschnittsfläche der Überströmöffnungen im Wesentlichen kongruent mit der Einströmöffnung und der Ausströmöffnung des Überströmkanals ausgebildet

sein. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass, sobald die Überströmöffnung vollständig über der Einstromöffnung beziehungsweise der Ausströmöffnung des Überströmkanals liegt, keine unnötigen Strömungswiderstände auftreten. In welcher Weise der beheizte Umlaufabschnitt geheizt wird, ist grundsätzlich beliebig. Besonders einfach und kostengünstig kann dies dadurch realisiert werden, dass entlang des beheizten Umlaufabschnitts ein Heizströmungskanal vorgesehen ist, der mit einem gasförmigen oder flüssigen Heizmedium durchströmt werden kann. Durch die Strömung des Heizmediums kann die thermische Energie entlang des beheizten Umlaufabschnittes auf den Energiewandler und im Ergebnis auf das Arbeitsmedium übertragen werden, so dass das Heizmedium im Ergebnis bei gleichbleibendem Volumen abgekühlt und das Arbeitsmedium bei gleichbleibendem Volumen erhitzt wird. Bei der bevorzugten Ausführung des Kreisprozesses im Nassdampfgebiet steigen Druck und Temperatur und Dampfgehalt des Arbeitsmediums.

[0009] In gleicher Weise ist es grundsätzlich beliebig, in welcher Weise der Umlaufabschnitt gekühlt wird. Auch hierbei ist der Einsatz eines Kühlströmungskanals besonders einfach und kostengünstig. Der Kühlströmungskanal wird von einem gasförmigen oder flüssigen Kühlmedium durchströmt und kann auf diese Weise thermische Energie aus dem Energiewandler entlang des gekühlten Umlaufabschnittes aufnehmen. Durch diese Aufnahme von thermischer Energie wird das Arbeitsmedium entlang des gekühlten Umlaufabschnittes bei gleichbleibendem Volumen gekühlt. Bei der bevorzugten Ausführung des Kreisprozesses im Nassdampfgebiet sinken Druck und Temperatur und Dampfgehalt des Arbeitsmediums durch die Kühlung.

[0010] Um eine effektive Beheizung beziehungsweise Kühlung des Heizmediums in den Druckkammern entlang des beheizten beziehungsweise gekühlten Umlaufabschnittes zu realisieren, ist es vorteilhaft, wenn der Heizströmungskanal und der Kühlströmungskanal das Gehäuse jeweils halbkreisförmig umgreifen.

[0011] Um die Wärmeenergie entlang des beheizten Umlaufabschnittes besonders effektiv auf das Arbeitsmedium übertragen zu können beziehungsweise entlang des gekühlten Umlaufabschnittes besonders effektiv thermische Energie vom Arbeitsmedium auf das Kühlmedium übertragen zu können, sollte das Heizmedium im Heizströmungskanal und das Kühlmedium im Kühlströmungskanal im Gegenstrom fließen. Dadurch kann beispielsweise erreicht werden, dass das Heizmedium mit der höchsten Temperatur im Bereich der Druckkammer mit dem höchsten Arbeitsdruck des Arbeitsmediums auf den Energiewandler trifft und von dort entlang des beheizten Umlaufabschnittes zunehmend abgekühlt wird, bis es im Bereich der Druckkammer mit dem niedrigsten Arbeitsdruck wieder vom Energiewandler abgeführt wird. An der Stelle, wo das Heizmedium mit seiner niedrigsten Temperatur abgeführt wird, wird zugleich im Gegenstrom das Kühlmedium mit der niedrigsten Temperatur zugeführt und von dort aus entlang des gekühlten Umlaufabschnittes zunehmend erwärmt. Im Bereich der Druckkammer mit dem höchsten Arbeitsdruck des Arbeitsmediums strömt dann das Kühlmedium vom Energiewandler weg und damit gerade in Gegenrichtung der Strömung des Heizmediums. Um die im Energiewandler erzeugte mechanische Energie einfach nutzen zu können, kann der Rotor mit einem Generator verbunden werden, mit dem das Drehmoment des Rotors in elektrischen Strom umgewandelt werden kann. Beim Anfahren des Energiewandlers ist es erforderlich, dass zunächst der Rotor durch ein äußeres Antriebsmoment in Rotation versetzt wird, um den thermodynamischen Kreisprozess des Arbeitsmediums in Gang zu setzen. Dieses Anfahren des Rotors kann in einfacher Weise dadurch realisiert werden, dass der Rotor mit einem Antriebsmotor verbunden wird, der den Rotor beim Anfahren des Energiewandlers mit einem Anfahrtdrehmoment beaufschlagt.

[0012] Soll der Energiewandler sowohl einen Generator zur Erzeugung von Strom als auch einen Antriebsmotor zum Anfahren umfassen, kann dies in einfacher Weise dadurch realisiert werden, dass ein Antriebsmotor durch entsprechende Umschaltung als Generator benutzt oder umgekehrt ein Generator durch entsprechende Umschaltung als Antriebsmotor benutzt wird.

[0013] Welches Arbeitsmedium zum Betrieb des Energiewandlers verwendet wird, hängt vom jeweiligen Anforderungsprofil ab, insbesondere welche Art von Wärmequelle beziehungsweise Kühlenke zur Verfügung steht, welche Temperatur die Wärmequelle beziehungsweise Kühlenke aufweist und wie hoch die vorhandene Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Kühlenke ist. Geeignete Arbeitsmedien zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Energiewandler sind Ammoniak, Ethanol, Wasser, Butan, Pentan, Benzol, Toluol oder eine Mischung der entsprechenden Einzelbestandteile. Als Heizmedium kann bevorzugt Heißwasser eingesetzt werden, bei dem es sich beispielsweise um Kühlwasser zur Abfuhr von Abwärme aus einer entsprechenden technischen Einrichtung, beispielsweise dem Antriebsmotor eines Fahrzeuges, handeln kann. Als Kühlmedium kann Kaltwasser eingesetzt werden, das beispielsweise über eine geeignete Kühleinrichtung, beispielsweise den Kühler eines Fahrzeuges, rückgekühlt wird.

[0014] Zur Erhöhung des Wirkungsgrades ist es vorteilhaft, wenn das überströmende Arbeitsmedium entlang eines Teils des beheizten Umlaufabschnitts am Gehäuse vorbeigeführt wird und zumindest einen Teil seiner Wärmeenergie rekuperativ überträgt.

[0015] Zur Erhöhung der Leistung des Energiewandlers können im Gehäuse mehrere Rotoren in jeweils einem zugeordneten ringförmigen Rotationsraum angeordnet werden, die ihr Drehmoment auf eine gemeinsame Antriebseinheit übertragen.

[0016] Weiter wird ein Verfahren zum Betrieb eines thermodynamischen Gleichraum-Kreisprozesses zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie vorgeschlagen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Gleichraum-Kreisprozess vollständig zwischen Siedelinie und Taulinie verläuft, wodurch das Arbeitsmedium jederzeit als Nass-

dampf vorliegt und zu keinem Zeitpunkt den Zustand der Sättigung oder der Überhitzung oder der Unterkühlung erreicht.
[0017] Der Gleichraum-Kreisprozess umfasst folgende Prozessschritte:

a) Isochore Erwärmung eines Arbeitsmediums in zumindest einer Druckkammer durch externe Wärmezufuhr, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums in der Druckkammer bei gleichbleibendem Volumen erhöht wird. Bevorzugt erfolgt eine Erhöhung des Drucks und der Temperatur und des Dampfgehalts des Arbeitsmediums in der Druckkammer bei gleichbleibendem Volumen.

b) Isentrope Expansion des Arbeitsmediums durch Öffnen eines Überströmkanals zwischen der Druckkammer mit dem höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt und der Druckkammer mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt, wobei dadurch Expansionsarbeit verrichtet und in mechanische Energie umgewandelt wird;

c) Isochore Abkühlung des Arbeitsmediums in zumindest einer Druckkammer durch externe Wärmezufuhr, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums in der Druckkammer bei gleichbleibendem Volumen verringert wird. Bevorzugt erfolgt eine Verringerung des Drucks und der Temperatur und des Dampfgehalts des Arbeitsmediums in der Druckkammer bei gleichbleibendem Volumen.

d) Isentrope Kompression des Arbeitsmediums in der Druckkammer mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt durch Einstromen des Arbeitsmediums aus der Druckkammer mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt;

e) Vermischung des Arbeitsmediums in der Druckkammer mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt mit dem Arbeitsmedium aus der Druckkammer mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt. Die Vermischung des Arbeitsmediums mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt mit dem Arbeitsmedium mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt erfolgt bezogen auf die Gesamtmasse des Arbeitsmediums in der Druckkammer mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt adiabatisch.

[0018] Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen schematisiert dargestellt und werden nachfolgend beispielhaft erläutert.

Es zeigen:

[0019]

Fig. 1 einen schematisiert dargestellten Energiewandler zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie im Querschnitt.

Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Energiewandlers zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie im Querschnitt;

Fig. 3 den Energiewandler gemäß **Fig. 2** im schematisierten Längsschnitt;

Fig. 4 eine Darstellung der Prozessschritte des thermodynamischen Gleichraum-Kreisprozesses im Energiewandler gemäß **Fig. 1** in einem Temperatur-Entropie-Diagramm.

[0020] **Fig. 1** zeigt einen Energiewandler 01 mit einem gasdichten Gehäuse 02. Im Gehäuse 02 ist eine drehfest angeordnete Achse 03 vorgesehen, auf der ein Rotor 04 drehbar gelagert ist. Zwischen dem Innenumfang des Gehäuses 02 und dem Außenumfang des Rotors 04 ist ein ringförmiger mit dem Rotor 04 verbundener Rotationsraum 05 gebildet. Am Außenumfang des Rotors 04 befinden sich acht Rotorschaukeln 06, die mit dem Rotor 04 um die Achse 03 rotieren und zugleich den Rotationsraum 05 in acht gleich große, voneinander getrennte Druckkammern 07 unterteilen. Der gesamte Rotationsraum 05, das heißt alle acht Druckkammern 07, sind mit einem strichpunktartig angedeuteten gasförmigen oder verdampfbaren Arbeitsmedium 08 befüllt. Bevorzugt ist der gesamte Rotationsraum 05 mit einem verdampfbaren Arbeitsmedium 08 befüllt. Aufgrund der Gasdichtigkeit des Gehäuses 02 findet keinerlei Stoffaustausch zwischen dem Arbeitsmedium 08 im Gehäuse 02 und der Atmosphäre außerhalb des Gehäuses 02 statt.

[0021] Auf der Oberseite des Gehäuses 02 befindet sich ein Heizströmungskanal 10, der von rechts nach links von einem Heizmedium 11, beispielsweise Heißwasser, durchströmt wird. An der Unterseite des Gehäuses 02 befindet sich

ein Kühlströmungskanal 12, der das Gehäuse 02 halbkreisförmig umfasst und von einem Kühlmedium 13 von links nach rechts durchströmt wird. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass das Heizmedium 11 und das Kühlmedium 13 den Heizströmungskanal 10 beziehungsweise den Kühlströmungskanal 12 im Gegenstrom durchlaufen. Der Heizströmungskanal 10 heizt das Arbeitsmedium 08 entlang des beheizten Umlaufabschnittes, so dass das Arbeitsmedium 08 zunehmend erwärmt und dadurch expandiert wird. Das Arbeitsmedium 08 wird dabei durch die Rotation des Rotors 04 durch den Rotationsraum 05 weitertransportiert, wobei sich der Druck in den Druckkammern ausgehend von der am weitesten links befindlichen Stellung der Druckkammern bis zum Erreichen der am weitesten rechts liegenden Druckkammer zunehmend erhöht. Anschließend wird dann das Arbeitsmedium 08 beim Umlauf entlang des gekühlten Umlaufabschnittes durch das Kühlmedium 13 gekühlt, so dass es ausgehend von der höchsten Temperatur der am weitesten rechts liegenden Stellung wieder auf die kühlsche Temperatur der am weitesten links liegenden Stellung der Druckkammern 07 heruntergekühlt wird.

[0022] In der Achse 03 ist ein Überströmkanal 09 vorgesehen, der jeweils die am weitesten rechts liegende Druckkammer 07a mit der am weitesten links liegenden Druckkammer 07b verbindet. Da das Arbeitsmedium in der am weitesten rechts liegenden Druckkammer 07a die höchste Temperatur und damit den höchsten Arbeitsdruck aufweist, strömt es durch die jeweilige Überströmöffnung 14 im Rotor 04 in den Überströmkanal 09 und von dort durch die entsprechende Überströmöffnung 14 in die am weitesten links liegende Druckkammer 07b. Beim Einstromen des Arbeitsmediums 08 aus dem Überströmkanal 09 in die Druckkammer 07b überträgt die Strömung des Arbeitsmediums 09 ihren Strömungsimpuls auf die Rückseite der entsprechenden Rotorscheufel 06 und treibt den Rotor 04 dadurch mit einem entsprechenden Antriebsmoment an. Dieses mechanische Antriebsmoment kann anschließend in einer in Fig. 1 nicht dargestellten Übertragungseinrichtung auf einen Generator übertragen werden, um elektrischen Strom zu erzeugen.

[0023] Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform 15 eines Energiewandlers zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie im Querschnitt. Der Aufbau des Energiewandlers 15 entspricht dabei weitgehend dem Aufbau des Energiewandlers 01, wobei die Rotorscheufeln in Fig. 2 nicht dargestellt sind. Das Arbeitsmedium strömt in die Mitte des Rotors.

[0024] Im Gegensatz zum Design des Energiewandlers 01 strömt das Arbeitsmedium nicht direkt von der Kammer 07a in die Kammer 07b, sondern nutzt rekuperativ einen Teil der verbliebenen Energie nach Verrichten der Expansionsarbeit zur Vorwärmung des Arbeitsmediums.

[0025] Um Wärmeenergie rekuperativ übertragen zu können, umfasst der Energiewandler 15 einen Rekuperationskanal 16. Durch den Rekuperationskanal 16 wird das überströmende Arbeitsmedium entlang eines Teils des beheizten Umlaufabschnitts am Gehäuse vorbeigeführt und dadurch zumindest ein Teil der Wärmeenergie rekuperativ übertragen.

[0026] Das Arbeitsmedium überströmt also entlang des Rekuperationskanals 16 den beheizten Umlaufabschnitt und nutzt dadurch rekuperativ einen Teil der verbliebenen Energie nach Verrichten der Expansionsarbeit zur Vorwärmung des Arbeitsmediums. Die Expansionsarbeit wird in diesem Fall nicht durch die Eindüsung in die Kammer 07b verrichtet, sondern durch antreiben des nicht dargestellten Düsenrades.

[0027] Fig. 3 zeigt den Energiewandler 15 mit dem Rekuperationskanal 16 im schematisierten Längsschnitt. Durch eine Einstromöffnung 17 strömt das Arbeitsmedium in den Rekuperationskanal 16 ein. Durch eine Ausstromöffnung 18 strömt das Arbeitsmedium aus dem Rekuperationskanal 16 aus.

[0028] Fig. 4 zeigt eine Darstellung der Prozessschritte des thermodynamischen Gleichraum-Kreisprozesses im Energiewandler gemäß Fig. 1 in einem Temperatur-Entropie-Diagramm. Als Arbeitsmedium ist in diesem Beispiel Isopentan vorgesehen. Der Gleichraum-Kreisprozess verläuft vollständig zwischen der in Fig. 4 gestrichelt dargestellten Siedelinie und der ebenfalls gestrichelt dargestellten Taulinie. Daraus folgt, dass das Arbeitsmedium Isopentan an jeder Stelle des Kreisprozesses als Nassdampf vorliegt und keinen Zustand der Sättigung oder der Überhitzung oder der Unterkühlung erreicht. Es ist der Fig. 4 zu entnehmen, dass kein Stützpunkt auf den Sättigungslinien oder gar im unterkühlten Flüssigkeitsgebiet oder überhitzten Dampfgebiet liegt.

[0029] Ausgehend vom Stützpunkt 19 erfolgt eine isochore Erwärmung des Arbeitsmediums 08 in den Druckkammer 07 entlang des beheizten Umlaufabschnitts mittels Wärmeübertragung vom Heizmedium 11, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums 08 in den Druckkammern 07 entlang des beheizten Umlaufabschnitts bei gleichbleibendem Volumen erhöht wird, bis der Stützpunkt 20 erreicht ist. Bevorzugt wird der Druck und die Temperatur und der Dampfgehalt des Arbeitsmediums 08 in den Druckkammern 07 entlang des beheizten Umlaufabschnitts bei gleichbleibendem Volumen erhöht, bis der Stützpunkt 20 erreicht ist. Beim Übergang von Stützpunkt 19 zu Stützpunkt 20 gilt

$$\vartheta = \frac{V}{m_{\max}} = \text{const.}; \quad q_{19-20} > 0,$$

wobei V das Volumen, m die Masse, ϑ das spezifische Volumen und q die Wärmeenergie ist.

[0030] Ausgehend vom Stützpunkt 20 erfolgt eine isentrope Expansion des Arbeitsmediums 08 durch Öffnen des Überströmkanals 09 zwischen der Druckkammer 07a mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt und der Druckkammer 07b mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt. Dabei wird Expansionsarbeit verrichtet und in mechanische Energie umgewandelt, bis der Stützpunkt 21 erreicht ist. Beim Übergang von Stützpunkt 20 zu Stützpunkt 21 gilt

$$S = \text{const.}; \vartheta_{21} > \vartheta_{20}; q_{20-21} = 0,$$

wobei S die Entropie, ϑ das spezifische Volumen und q die Wärmeenergie ist.

[0031] Ausgehend vom Stützpunkt 21 erfolgt eine isochore Abkühlung des Arbeitsmediums 08 in den Druckkammern 07 entlang des gekühlten Umlaufabschnitts, wo mit dem Kühlmedium 13 gekühlt wird, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums 08 in den Druckkammern 07 entlang des gekühlten Umlaufabschnitts bei gleichbleibendem Volumen verringert wird, bis der Stützpunkt 22 erreicht ist. Beim Übergang von Stützpunkt 21 zu Stützpunkt 22 gilt

$$\vartheta = \frac{V}{m_{\min}} = \text{const.}; q_{21-22} < 0,$$

wobei ϑ das spezifische Volumen, V das Volumen, m die Masse und q die Wärmeenergie ist.

[0032] Ausgehend vom Stützpunkt 22 erfolgt eine isentrope Kompression des Arbeitsmediums 08 in der Druckkammer 07b mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt durch Einstromen des Arbeitsmediums 08 aus der Druckkammer 07a mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt, bis der Stützpunkt 23 erreicht ist. Beim Übergang von Stützpunkt 22 zu Stützpunkt 23 gilt

$$m_{\min} \rightarrow m_{\max}; \vartheta = \frac{V}{m} \downarrow; S = \text{const.}; T, p, x \uparrow,$$

wobei S die Entropie, ϑ das spezifische Volumen, m die Masse, V das Volumen, T die Temperatur, p der Druck und x der Dampfgehalt ist.

[0033] Ausgehend vom Stützpunkt 23 erfolgt eine Vermischung des Arbeitsmediums 08 in der Druckkammer 07b mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt mit dem Arbeitsmedium 08 aus der Druckkammer 07a mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt, bis der Stützpunkt 19 wieder erreicht ist. Die Vermischung des Arbeitsmediums 08 mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt mit dem Arbeitsmedium 08 mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt erfolgt in der Druckkammer 07b bezogen auf die Gesamtmasse des Arbeitsmediums in der Druckkammer 07b mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt adiabatisch und isochor. Aufgrund des Ablaufs des Gleichraum-Kreisprozesses im Nassdampf-Gebiet zwischen Siedelinie und Taulinie handelt es sich bei der Vermischung um eine Vermischung von Nassdampf erhöhter Temperatur, der aus der Druckkammer 07a mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur, Dampfgehalt einströmt, mit dem in der Druckkammer 07b befindlichen Nassdampf geringsten Werten von Temperatur, Druck und Dampfgehalt. Beim Übergang von Stützpunkt 23 zu Stützpunkt 19 gilt

$$\vartheta = \frac{V}{m_{\max}} = \text{const.}; q_{23-19} = 0,$$

wobei ϑ das spezifische Volumen und q die Wärmeenergie ist.

[0034] Der Gleichraum-Kreisprozess ist danach einmal vollständig durchlaufen.

Patentansprüche

1. Energiewandler (01) zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, mit einem Rotor (04), der drehbar auf einer Achse (03) in einem gasdichten Gehäuse (02) gelagert ist, wobei zwischen dem Außenumfang des Rotors (04) und dem Innenumfang des Gehäuses (02) ein ringförmiger Rotationsraum (05) gebildet ist, und wobei am Außenumfang des Rotors (04) mehrere Rotorschaukeln (06) angeordnet sind, die den Rotationsraum

(05) in mehrere druckdicht voneinander getrennte Druckkammern (07) unterteilen, und wobei der Rotationsraum (05) mit einem gasförmigen oder verdampfbaren Arbeitsmedium (08) gefüllt ist, und wobei das Gehäuse (02) entlang eines beheizten Umlaufabschnitts des Rotors (04) mit einem Heizmedium (11) beheizt werden kann, um den Druck und/oder die Temperatur und/oder den Dampfgehalt des Arbeitsmediums (08) in den Druckkammern (07) bei gleichbleibendem Volumen entlang des beheizten Umlaufabschnitts zu erhöhen, und wobei das Gehäuse (02) entlang eines gekühlten Umlaufabschnitts des Rotors (04) mit einem Kühlmedium (13) gekühlt werden kann, um den Druck und/oder die Temperatur und/oder den Dampfgehalt des Arbeitsmediums (08) in den Druckkammern (07) entlang des gekühlten Umlaufabschnitts bei gleichbleibendem Volumen zu verringern, und wobei im Gehäuse oder in der Achse (03) ein Überströmkanal (09) vorgesehen ist, mit dem das Arbeitsmedium (08) aus der Druckkammer (07a) am Ende des beheizten Umlaufabschnitts in die Druckkammer (07b) am Ende des gekühlten Umlaufabschnitts überströmen kann, und wobei die Strömung des überströmenden Arbeitsmediums (08) ein Drehmoment auf den Rotor (04) und/oder ein Laufrad im Düsenkanal überträgt.

2. Energiewandler nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich die Rotorscheaufeln (06) spiralausschnittsförmig vom Außenumfang des Rotors (04) zum Innenumfang des Gehäuses (02) erstrecken.
3. Energiewandler nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (04) Überströmöffnungen (14) aufweist, durch die das Arbeitsmedium (08) aus der Druckkammer (07a) am Ende des beheizten Umlaufabschnitts in den die Achse (03) durchgreifenden Überströmkanal (09) einströmen kann, und durch die das Arbeitsmedium (08) aus dem Überströmkanal (09) in die Druckkammer (07b) am Ende des gekühlten Umlaufabschnitts überströmen kann.
4. Energiewandler nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die offene Querschnittsfläche der Überströmöffnungen (14) im Wesentlichen kongruent mit der Einstromöffnung und der Ausstromöffnung des Überströmkanals (09) ausgebildet ist.
5. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich entlang des beheizten Umlaufabschnitts ein Heizströmungskanal (10), der bevorzugt das Gehäuse (02) halbkreisförmig umgreift, erstreckt, wobei der Heizströmungskanal (10) mit einem gasförmigen oder flüssigen Heizmedium (11) durchströmt werden kann.
6. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich entlang des gekühlten Umlaufabschnitts ein Kühlströmungskanal (12), der bevorzugt das Gehäuse (02) halbkreisförmig umgreift, erstreckt, wobei der Kühlströmungskanal (12) mit einem gasförmigen oder flüssigen Kühlmedium (13) durchströmt werden kann.
7. Energiewandler nach einem der Ansprüche 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Heizmedium (11) im Heizströmungskanal (10) und das Kühlmedium (13) im Kühlströmungskanal (12) im Gegenstrom fließen.
8. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (04) mit einem Generator verbunden ist, mit dem das Drehmoment des Rotors (04) in einen elektrischen Strom umgewandelt werden kann.
9. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (04) mit einem Antriebsmotor verbunden ist, mit dem ein Anfahrtdrehmoment auf den Rotor (04) übertragen werden kann.
10. Energiewandler nach Anspruch 8 oder 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass durch Umschaltung der Antriebsmotor als Generator oder umgekehrt der Generator als Antriebsmotor betreibbar ist.

- 5 11. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Arbeitsmedium (08) aus Ammoniak, Ethanol, Wasser, Butan, Pentan, Benzol, Toluol oder einer Mischung der Einzelbestandteile besteht.
- 10 12. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Heizmedium (11) Heißwasser und /oder als Kühlmedium (13) Kaltwasser eingesetzt wird.
- 15 13. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass das überströmende Arbeitsmedium entlang eines Teils des beheizten Umlaufabschnitts am Gehäuse vorbeigeführt wird und zumindest einen Teil seiner Wärmeenergie rekuperativ überträgt.
- 20 14. Energiewandler nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass in einem Gehäuse mehrere Rotoren in jeweils einem zugeordneten ringförmigen Rotationsraum angeordnet sind und ihr Drehmoment auf eine gemeinsame Antriebseinheit übertragen.
- 25 15. Verfahren zum Betrieb eines thermodynamischen Gleichraum-Kreisprozesses zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie mit folgenden Prozessschritten:
 - a) Isochore Erwärmung eines Arbeitsmediums (08) in zumindest einer Druckkammer (07) durch externe Wärmezufuhr, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums (08) in der Druckkammer (07) bei gleichbleibendem Volumen erhöht wird;
 - 30 b) Isentrope Expansion des Arbeitsmediums (08) durch Öffnen eines Überströmkanals (09) zwischen der Druckkammer (07a) mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt und der Druckkammer (07b) mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt, wobei dadurch Expansionsarbeit geleistet und in mechanische Energie umgewandelt wird;
 - 35 c) Isochore Abkühlung des Arbeitsmediums (08) in zumindest einer Druckkammer (07) durch externe Wärmeabfuhr, wobei der Druck und/oder die Temperatur und/oder der Dampfgehalt des Arbeitsmediums (08) in der Druckkammer (07) bei gleichbleibendem Volumen verringert wird;
 - d) Isentrope Kompression des Arbeitsmediums (08) in der Druckkammer (07b) mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt durch Einströmen des Arbeitsmediums (08) aus der Druckkammer (07a) mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt;
 - 40 e) Vermischung des Arbeitsmediums (08) in der Druckkammer (07b) mit den niedrigsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt mit dem Arbeitsmedium (08) aus der Druckkammer (07a) mit den höchsten Werten von Druck, Temperatur und/oder Dampfgehalt.

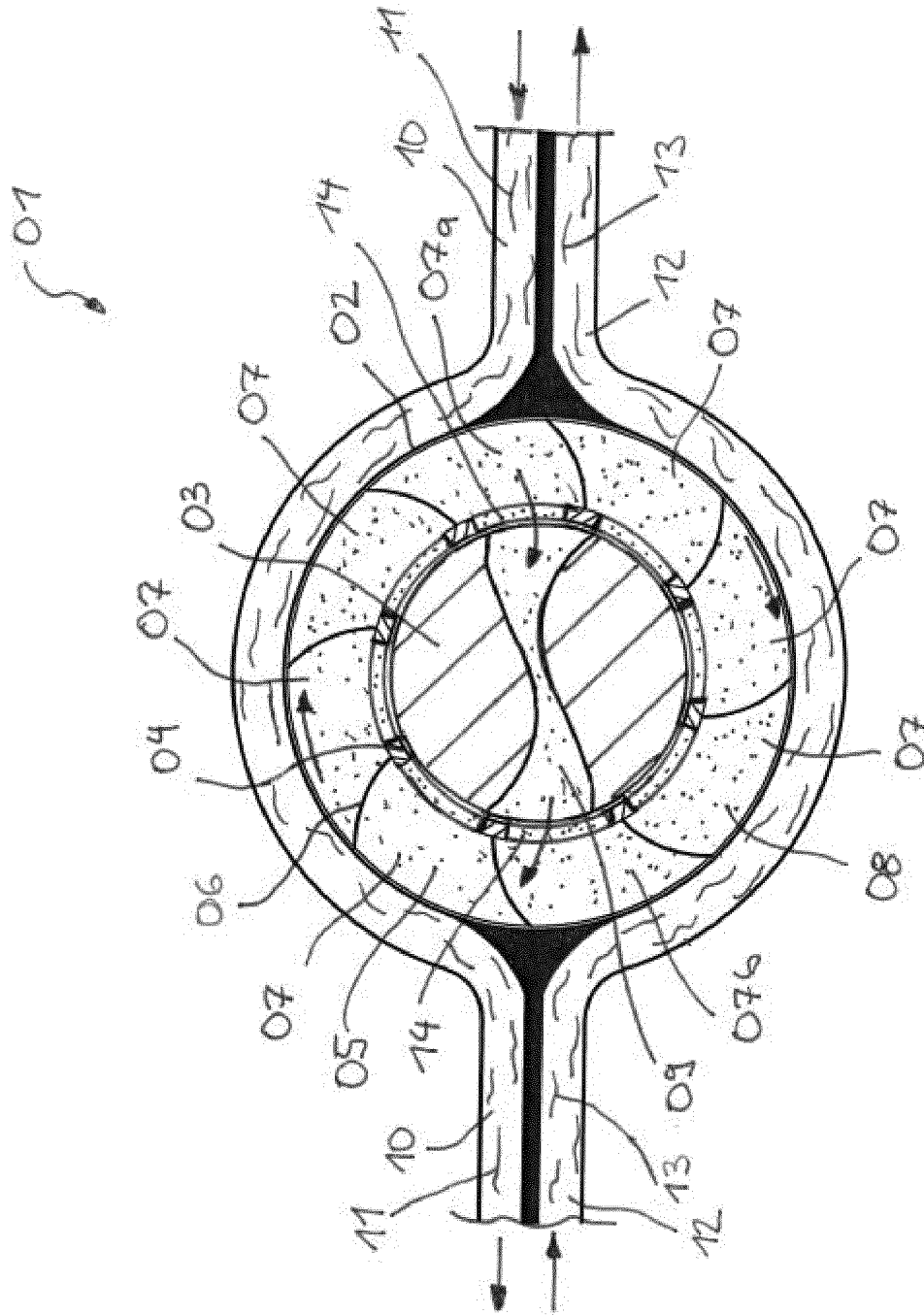


Fig. 1

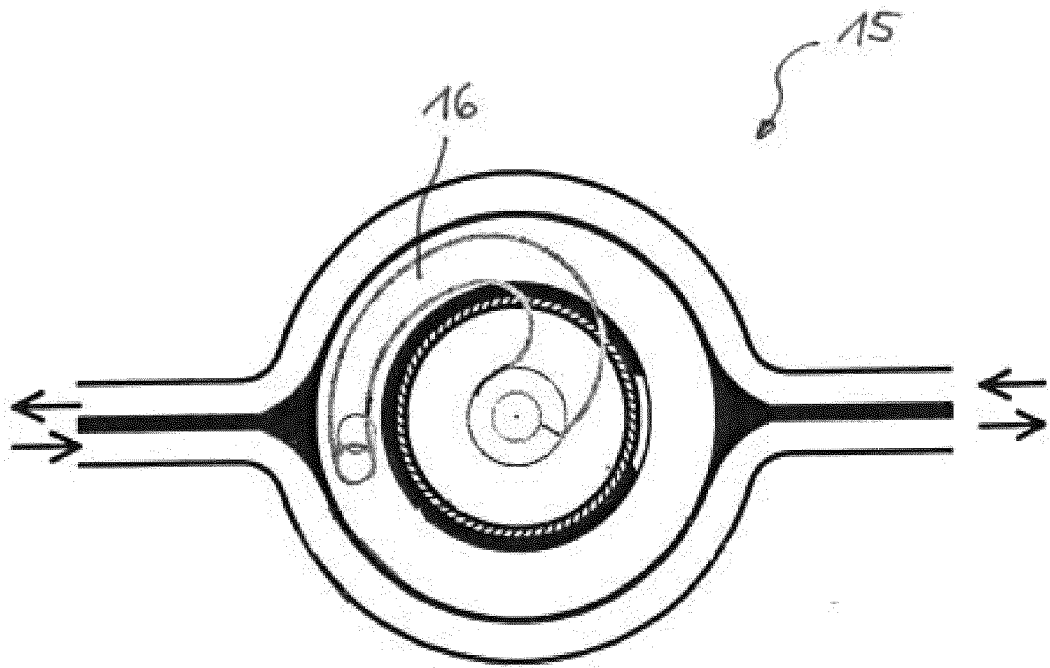


Fig. 2

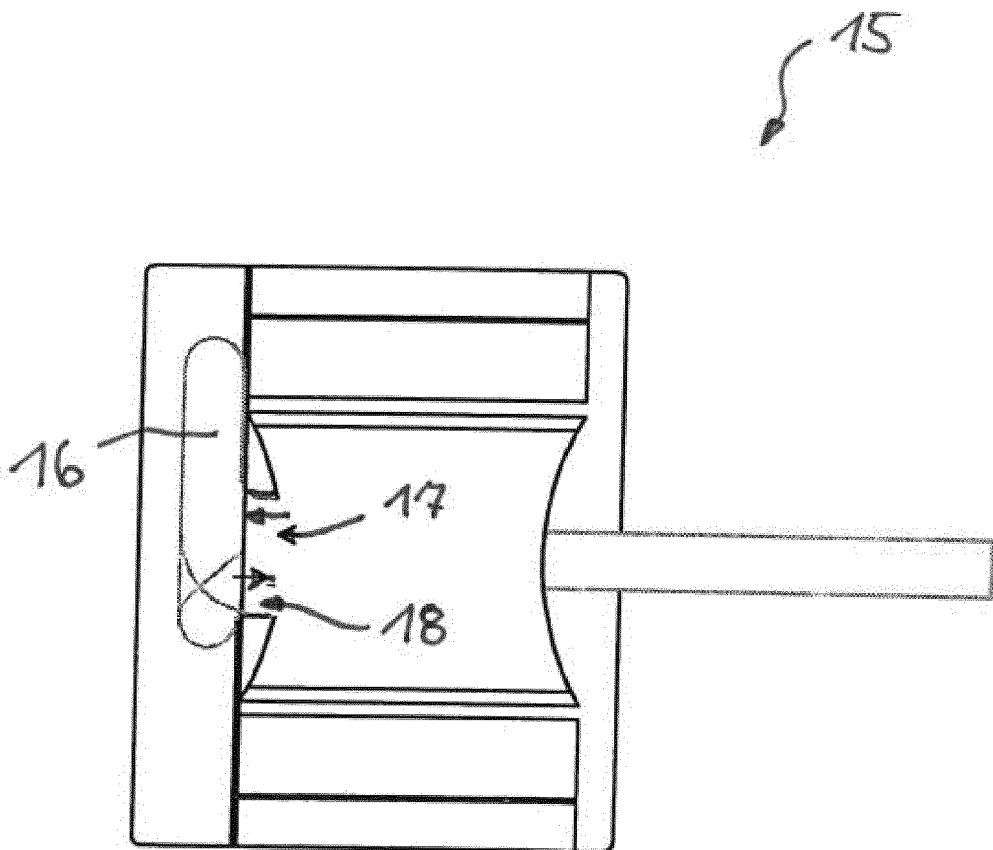


Fig. 3

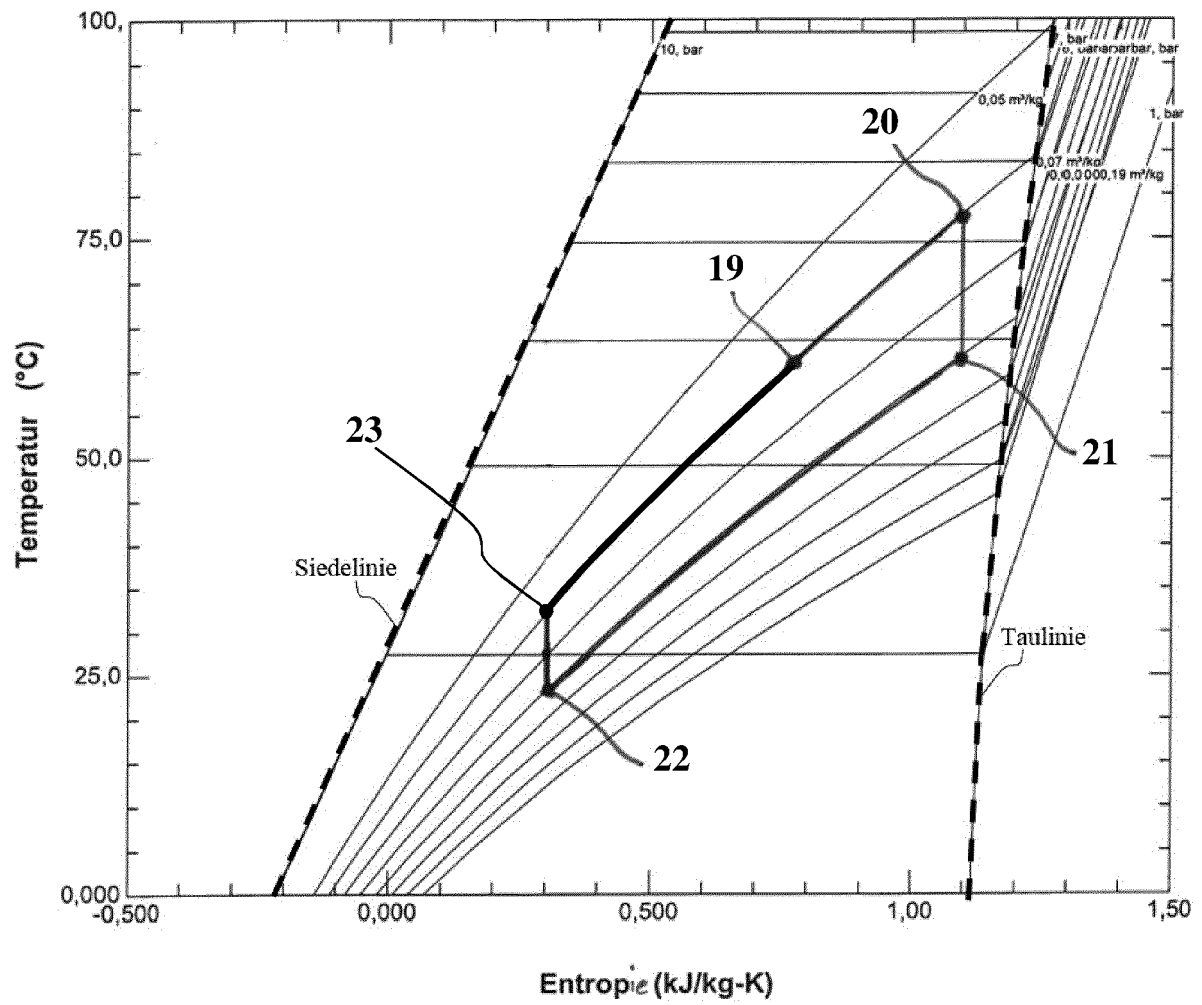


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 21 6260

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2009/000294 A1 (MISSELHORN JURGEN K [DE]) 1. Januar 2009 (2009-01-01) * Zusammenfassung; Abbildungen 8, 10, 11 * * Absätze [0017] - [0027] * -----	1-15	INV. F01K27/00 F02G1/043
A	US 2010/287936 A1 (KLUTCHENKO SERGE [FR]) 18. November 2010 (2010-11-18) * Zusammenfassung; Abbildungen 15-22 * * Absätze [0097] - [0122] * -----	1-15	
A	RAGGI L ET AL: "Theoretical and experimental study on regenerative rotary displacer Stirling engine", IECEC '97. PROCEEDINGS OF THE 32ND INTERSOCIETY ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE. AEROSPACE POWER SYSTEMS AND TECHNOLOGIES. HONOLULU, HI, JULY 27 - AUG. 1, 1997; [INTER SOCIETY ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE], NEW YORK, NY : IEEE, US, 27. Juli 1997 (1997-07-27), Seiten 1017-1022, XP010269081, DOI: 10.1109/IECEC.1997.661908 ISBN: 978-0-7803-4515-7 * das ganze Dokument * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01K F02G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Mai 2022	Prüfer Varelas, Dimitrios
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 21 21 6260

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-05-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2009000294 A1	01-01-2009	AT 479833 T	15-09-2010
			DE 102005013287 B3	12-10-2006
			EP 1841964 A2	10-10-2007
			EP 2299097 A2	23-03-2011
			JP 2008528863 A	31-07-2008
			US 2009000294 A1	01-01-2009
			WO 2006079551 A2	03-08-2006
20	US 2010287936 A1	18-11-2010	BR PI0821061 A2	16-06-2015
			EP 2227628 A2	15-09-2010
			FR 2924762 A1	12-06-2009
			US 2010287936 A1	18-11-2010
			WO 2009103871 A2	27-08-2009
25	-----			
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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