

(19)



(11)

EP 3 366 894 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.08.2018 Patentblatt 2018/35

(51) Int Cl.:
F01K 25/08^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17157833.9**

(22) Anmeldetag: **24.02.2017**

(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:
MA MD

(72) Erfinder: **FLÜCK, Arthur**
8006 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **Rothkopf, Ferdinand**
Rothkopf
Patent- und Rechtsanwälte
Maximilianstrasse 25
80539 München (DE)

(71) Anmelder: **AgroNorm Vertriebs GmbH**
84453 Mühldorf am Inn (DE)

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

(54) VORRICHTUNG ZUM UMWANDELN VON THERMISCHER ENERGIE

(57) Bei einer Vorrichtung zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt ist, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattedampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie einer Expansionseinrichtung zum Expandieren des Arbeits-

mediums von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck, wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck eine Abdampftemperatur aufweist, ist eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts vorgesehen.

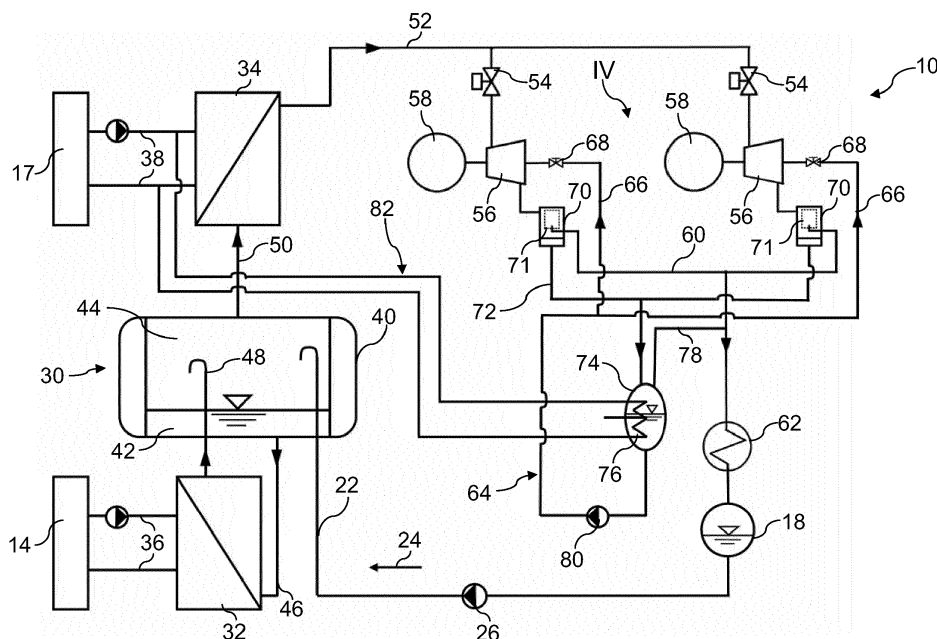


Fig. 1

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt ist, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattdampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie einer Expansionseinrichtung zum Expandieren des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck, wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck eine Abdampftemperatur aufweist. Ferner betrifft die Erfindung ein dementsprechendes Verfahren zum Umwandeln von thermischer Energie in mechanische Energie.

[0002] Gattungsgemäße Vorrichtungen und Verfahren werden zum Erzeugen von elektrischer Energie aus thermischer Energie zu einer sogenannten Wärmeverstromung genutzt. Als thermodynamischer Kreisprozess wird dabei in der Regel ein Clausius-Rankine-Kreisprozess durchgeführt, der in Dampfkraftwerken weit verbreitet mit Wasser als Arbeitsmedium abläuft. Das Wasser wird mittels Hochtemperatur-Wärmequellen, wie Kohle, Erdgas, Erdöl und Kernenergie auf etwa 600 °C erhitzt. Wird anstatt Wasser ein organisches Arbeitsmedium verwendet, spricht man vom sogenannten ORC-Prozess (Organic-Rankine-Cycle-Process). Organische Arbeitsmedien können einen weit tieferen Siedepunkt als Wasser aufweisen und bei niedrigeren Temperaturen verdampfen. Deswegen werden ORC-Prozesse dazu verwendet, thermische Energie aus Niedertemperatur-Wärmequellen zu verwerten, die Temperaturen von 60 °C bis 200 °C aufweisen. Solche Wärmequellen sind solartermische oder geothermische Quellen sowie Abwärme von Motoren, Industrieproduktionsprozessen und Biogasanlagen. Sie können mit herkömmlichen Vorrichtungen und Verfahren nur ungenügend verwertet werden.

[0003] In einem thermodynamischen Kreisprozess durchläuft das Arbeitsmedium periodische Änderungen in seinen thermodynamischen Zustandsgrößen wie Temperatur und Druck. Je nach Änderung der Zustandsgrößen kann vom Arbeitsmedium Energie aus der Umgebung aufgenommen oder in die Umgebung abgegeben werden. Dabei ist das Arbeitsmedium also einem wechselnden Druck ausgesetzt. Es wird zunächst als flüssiges Arbeitsmedium unter einen erhöhten Druck gesetzt und dann mittels Übertragen von thermischer Energie aus der Wärmequelle verdampft und überhitzt. Es entsteht ein energiereicher komprimierter Arbeitsmedium-Dampf, der seine aufgenommene Energie bei einer Expansion von dem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck mittels einer Expansionseinrichtung wieder abgeben kann. Die abgegebene Energie kann in Form von mechanischer Energie einen Generator zum Erzeugen von elektrischer Energie antreiben.

[0004] Nach der Expansion bzw. des Expansionsprozesses weist der Arbeitsmedium-Dampf als Abdampf oftmals einen Anteil an flüssigem Arbeitsmedium auf. Dieser Anteil an flüssigem Arbeitsmedium erniedrigt den Wirkungsgrad und die Lebensdauer vieler Expansionseinrichtungen. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die meisten Expansionseinrichtungen, wie zum Beispiel Verdrängermaschinen und insbesondere Flügelzellexpander, in der Regel eine Ölschmierung mit einem Schmieröl benötigen. Mittels des Schmieröls kann eine Reibung zwischen beweglichen Bauteilen der Expansionseinrichtung gering gehalten und können Leckspalten in einem das Arbeitsmedium führenden Expansionsraum abgedichtet werden. Reichert sich hingegen das Schmieröl mit dem Anteil an flüssigem Arbeitsmedium an, so sinken die Schmiereigenschaften und Abdichtfähigkeiten des Schmieröls.

[0005] Geringere Schmiereigenschaften erhöhen einen Verschleiß an den beweglichen Bauteilen. Geringere Abdichtfähigkeiten führen zu höheren Leckverlusten des Arbeitsmediums in der Expansionseinrichtung und damit zu einem niedrigeren Wirkungsgrad. Zudem ist eine zusätzliche Heizenergie für ein nachträgliches thermisches Austreiben von flüssigem Arbeitsmedium aus einem rückgeführten Schmieröl notwendig, was den Wirkungsgrad weiter erniedrigt.

Zugrundeliegende Aufgabe

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren für einen thermodynamischen Kreisprozess mit einem Arbeitsmedium zum Umwandeln von thermischer Energie zu schaffen. Dabei soll der thermodynamische Kreisprozess optimiert werden, insbesondere hinsichtlich Lebensdauer und Wirkungsgrad der Expansionseinrichtung und des Expansionsprozesses.

Erfindungsgemäße Lösung

[0007] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß mit einer Vorrichtung zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt ist, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattdampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie einer Expansionseinrichtung zum Expandieren des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck, wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck eine Abdampftemperatur aufweist, gelöst. Dabei ist eine Einstelleinrichtung zum Einstellen der Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampftemperaturwerts vorgesehen.

[0008] Mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das in dem Kreisprozess geführte Arbeitsmedium einem

wechselnden Druck ausgesetzt, der insbesondere periodischen Änderungen unterworfen ist. Dabei ist jedem jeweiligen Druck, dem das Arbeitsmedium ausgesetzt ist, ein Sattedampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig. Der Sattedampftemperaturwert ist der Temperaturwert, bei dem sich flüssiges Arbeitsmedium mit gasförmigem Arbeitsmedium im Gleichgewicht befindet. Er ist vom jeweiligen Druck abhängig, der als Sattedampfdruckwert bezeichnet wird. Die Abhängigkeit von Sattedampfdruckwert und Sattedampftemperaturwert kann als Phasengrenzlinie zwischen flüssigem und gasförmigem Arbeitsmedium in einer Dampfkurve dargestellt werden. Die Dampfkurve ist für jedes Arbeitsmedium spezifisch.

[0009] Weist das Arbeitsmedium eine Temperatur unterhalb des Sattedampftemperaturwerts des jeweiligen Drucks auf, dem es gerade ausgesetzt ist, so ist das Arbeitsmedium flüssig. Weist das Arbeitsmedium eine Temperatur oberhalb des Sattedampftemperaturwerts des jeweiligen Drucks auf, so ist das Arbeitsmedium gasförmig. Bei einem Abkühlen des gasförmigen Arbeitsmediums bilden sich beim Erreichen des Sattedampftemperaturwerts erste Kondensationstropfen des Arbeitsmediums.

[0010] Mittels der Expansionseinrichtung ist das im Kreisprozess geführte Arbeitsmedium von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck zu expandieren bzw. zu entspannen. Beim Expandieren sinkt nicht nur der Druck des Arbeitsmediums auf den niedrigeren Druck, sondern auch die Temperatur des Arbeitsmediums. Die Temperatur, die das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck aufweist, ist als Abdampftemperatur bezeichnet.

[0011] Erfindungsgemäß ist eine Einstelleinrichtung vorgesehen, mit der diese Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts einstellbar ist. Mit einer solchen Einstelleinrichtung kann der Abdampftemperaturwert des Arbeitsmediums gezielt oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts eingestellt werden. Das Arbeitsmedium, das einen Abdampftemperaturwert oberhalb der Sattedampftemperatur aufweist, ist gasförmig. Ein Kondensieren des Arbeitsmediums von seinem gasförmigen in seinen flüssigen Aggregatzustand beim und nach dem Expandieren kann zuverlässig vermieden werden. Damit ist in der zugehörigen Expansionseinrichtung ein durchwegs kondensatfreier Arbeitsmedium-Dampf ohne einen Anteil an flüssigem Arbeitsmedium erreicht. In und an der Expansionseinrichtung vorhandenes und in der Regel flüssiges Schmiermittel, wie insbesondere ein Schmieröl, kann nicht mit flüssigem Arbeitsmedium verunreinigt werden. Das derart sauber gehaltene Schmiermittel verhindert sicher die Reibung zwischen beweglichen Bauteilen der Expansionseinrichtung und dichtet den Expansionsraum gegenüber einem Austritt von Arbeitsmedium zuverlässig ab. Zudem ist ein nachträgliches Erhitzen zum Austreiben eines andernfalls auftretenden flüssigen Arbeitsmediums im in der Regel

rückgeführten Schmiermittel nicht nötig. Damit sind sowohl der Wirkungsgrad als auch die Lebensdauer der Expansionseinrichtung gemäß der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Vergleich zu herkömmlichen gattungsgemäßen Vorrichtungen erheblich verbessert.

[0012] Die erfindungsgemäße Lösung überrascht zunächst, da für die Einstelleinrichtung zusätzliche Bauteile und ein zusätzlicher Energieaufwand benötigt werden. Zudem ergibt sich im Vergleich zu herkömmlichen gattungsgemäßen Vorrichtungen ein höherer Abdampftemperaturwert. Ein solch höherer Abdampftemperaturwert resultiert in einem Energieverlust. Es kann bei der Expansion entsprechend vergleichsweise weniger Energie freigesetzt werden, die als mechanische Energie weiter nutzbar ist. Erfindungsgemäß hat sich jedoch überraschenderweise gezeigt, dass der Vorteil des durchwegs kondensatfreien Arbeitsmedium-Dampfes in der Expansionseinrichtung den zusätzlichen Energieaufwand und den resultierenden Energieverlust bei weitem überwiegt.

[0013] Ferner kann mit der erfindungsgemäßen Lösung die Kondensation des gasförmigen Arbeitsmediums nach dem Expandieren unabhängig von verschiedensten äußeren und inneren Bedingungen des thermodynamischen Kreisprozesses vermieden werden. Egal welche thermische Energie die Wärmequelle aufweist und egal welche Temperatur und welchen Druck das Arbeitsmedium bei Eintritt in die Expansionseinrichtung hat, ist der Abdampftemperaturwert des Arbeitsmediums immer oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts eingestellt. Es ist also der Abdampftemperaturwert in Abhängigkeit des niedrigeren Drucks definiert, der je nach Eintrittstemperatur und Eintrittsdruck des Arbeitsmediums in die Expansionseinrichtung variieren kann. Dabei sind die Eintrittstemperatur und der Eintrittsdruck oftmals abhängig von der thermischen Energie der Wärmequelle. Zudem ist der Abdampftemperaturwert in Abhängigkeit des zum niedrigeren Druck gehörigen Sattedampftemperaturwerts definiert. Dieser Sattedampftemperaturwert ist für jedes Arbeitsmedium spezifisch, sodass die Kondensation des gasförmigen Arbeitsmediums nach dem Expandieren auch unabhängig von der Art des Arbeitsmediums immer zuverlässig vermieden werden kann.

[0014] Erfindungsgemäß bevorzugt ist der definierte Abdampftemperaturwert dabei konstant oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts zu halten. Mit dem derart konstant gehaltenen Abdampftemperaturwert kann die Expansion und eine im Kreisprozess nach der Expansion folgende Kondensation besonders gleichmäßig ohne große Temperaturschwankungen durchgeführt werden. Dabei treten insbesondere nur wenig innere Reibungsverluste im Arbeitsmedium und wenig äußere Reibungsverluste gegenüber einer das Arbeitsmedium führenden Leitung auf. Andernfalls auftretende Energieverluste können eingespart werden.

[0015] In erfindungsgemäß vorteilhafter Weise liegt der definierte Abdampftemperaturwert zwischen 2 K und

12 K, bevorzugt zwischen 4 K und 8 K sowie besonders bevorzugt zwischen 5 K und 6 K oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampf-temperaturwerts. Es wurde festgestellt, dass bereits ein solch geringer Unterschied zwischen dem Abdampf-temperaturwert und dem maßgeblichen Sattdampf-temperaturwert ausreicht, um eine Kondensation im Arbeitsmedium-Dampf bei der Expansion auf den niedrigeren Druck sicher vermeiden zu können. Für einen größeren Unterschied müsste ein höherer Abdampf-temperaturwert eingestellt werden, was einen unnötigen Energieverlust verursachen würde.

[0016] Ferner ist erfindungsgemäß vorteilhaft mittels der Einstelleinrichtung eine Temperatur des Arbeitsmediums derart zu erhöhen, dass die Abdampf-temperatur den definierten Abdampf-temperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampf-temperaturwerts aufweist. Eine solche Temperaturerhöhung ist einfach durchführbar.

[0017] Bekanntermaßen ist das in einem thermodynamischen Kreisprozess geführte Arbeitsmedium in seinem flüssigen Aggregatzustand von einem niedrigeren Druck unter einen erhöhten Druck zu setzen. Danach ist das unter den erhöhten Druck gesetzte Arbeitsmedium isobar zu verdampfen und zu überhitzen. Dabei steigt die Temperatur des Arbeitsmediums. Beim Expandieren des komprimierten und überhitzten Arbeitsmedium-Dampfes auf den niedrigeren Druck sinkt die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes auf die Abdampf-temperatur.

[0018] Erfindungsgemäß bevorzugt ist die Temperatur des im Kreisprozess geführten Arbeitsmediums nun nach dem Verdampfen und vor oder beim Expandieren mittels der Einstelleinrichtung derart zu erhöhen, dass dann die Abdampf-temperatur den definierten Abdampf-temperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampf-temperaturwerts aufweist.

[0019] Erfindungsgemäß besonders bevorzugt ist mittels der Einstelleinrichtung die Temperatur des Arbeitsmediums innerhalb der Expansionseinrichtung zu erhöhen. Damit kann die Temperatur während des Expansionsprozesses erhöht werden, was energiesparender ist als eine Temperaturerhöhung des überhitzten Arbeitsmedium-Dampfes vor dem Expandieren. Insbesondere ist dabei die Temperatur des Arbeitsmediums gegen Ende des Expansionsprozesses zu erhöhen. Gegen Ende des Expansionsprozesses ist die Temperatur des sich entspannenden Arbeitsmedium-Dampfes niedriger als am Anfang oder in der Mitte des Expansionsprozesses. Damit kann die Temperatur des Arbeitsmediums energiesparend von einer vergleichsweise niedrigen Temperatur auf den benötigten Temperaturwert angehoben werden, mit dem nach dem Expandieren der definierte Abdampf-temperaturwert erreicht werden soll.

[0020] Ferner umfasst die Einstelleinrichtung erfindungsgemäß vorteilhaft eine Dampfzuführung zum Zuführen von Dampf zum Arbeitsmedium, wobei der Dampf insbesondere überhitzter Dampf ist. Den Dampf bildende Dampf-Moleküle bewegen sich schnell und übertragen

ihre Bewegung bei einem Zusammenstoß entsprechend schnell an die Arbeitsmedium-Dampf-Moleküle, was die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes entsprechend schnell erhöht. Zudem kann je nach Temperatur und Menge des zuzuführenden Dampfes die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes sehr zielgerichtet auf den definierten Abdampf-temperaturwert eingestellt werden. Ist der Dampf überhitzt, so erfolgt die Temperaturerhöhung noch schneller.

[0021] Bevorzugt ist die Dampfzuführung dazu angepasst, den Dampf in die Expansionseinrichtung zuzuführen, insbesondere nach dem Zuführen des im Kreisprozess geführten Arbeitsmedium-Dampfes in die Expansionseinrichtung. Damit kann die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes energiesparend während des Expandierens erhöht werden. Eine bevorzugt gegen Ende des Expandierens in die Expansionseinrichtung führende Dampfzuführung ist gemäß oben beschriebener Ausführungen besonders energiesparend.

[0022] Darüber hinaus hat die Dampfzuführung in die Expansionseinrichtung den Vorteil, dass der zugeführte Dampf als zusätzlicher Dampf expandieren kann. Daraus resultiert eine zusätzliche Expansionsleistung des zusätzlichen Dampfes, die in Form von zusätzlicher mechanischer Leistung an die Expansionseinrichtung abgegeben werden kann. Eine höhere Leistung und ein damit verbundener höherer Wirkungsgrad der Expansionseinrichtung sind erzielbar, was den Wirkungsgrad der gesamten Vorrichtung erhöht.

[0023] Ferner ist der Dampf erfindungsgemäß vorteilhaft ein Dampf des Arbeitsmediums. Damit bleibt das Arbeitsmedium trotz des Zuführens von zusätzlichem Dampf ein reines Arbeitsmedium, das nicht mit dem Dampf eines anderen Mediums verunreinigt ist. Bevorzugt stammt der Dampf des Arbeitsmediums aus dem gleichen Kreisprozess wie der Arbeitsmedium-Dampf selbst, der zu Beginn des Expandierens in die Expansionseinrichtung zu leiten ist. Es ist dann energie- und bauteilsparend nur eine einzige Dampferzeugung nötig, wofür besonders effizient thermische Energie aus der Wärmequelle übertragen werden kann.

[0024] Erfindungsgemäß vorteilhaft ist die Expansionseinrichtung als eine Verdrängermaschine zum Durchleiten des Arbeitsmediums in mindestens einem sich beim Durchleiten vergrößernden Expansionsraum bzw. Volumenraum gestaltet. Dabei ist ein Einlass zum Einlassen des unter dem erhöhten Druck gesetzten Arbeitsmedium-Dampfes in den Expansionsraum vorgesehen. Der eingelassene Arbeitsmedium-Dampf verschiebt dann ein Bauteil, das den Expansionsraum begrenzt. Dadurch wird der Expansionsraum vergrößert und zugleich das Bauteil zum Verrichten von mechanischer Arbeit bewegt. Das Vergrößern des Expansionsraums bewirkt eine Expansion des Arbeitsmedium-Dampfes von dem erhöhten Druck auf den niedrigeren Druck.

[0025] Bei einer solchen Verdrängermaschine kann der Arbeitsmediums-Dampf durch den Einlass und der

zusätzliche Dampf durch eine zwischen dem Einlass und dem Auslass positionierte Dampfzuführung in den Expansionsraum geführt werden. Dabei kann der Arbeitsmedium-Dampf beim Durchleiten durch den sich vergrößernden Expansionsraum expandieren und kann während des sich vergrößernden Expansionsraums mittels des zugeführten Dampfes zwischenerhitzt werden. Zusammen mit dem zugeführten Dampf kann der zwischenerhitzte Arbeitsmedium-Dampf in Richtung des Auslasses weiter expandieren.

[0026] Besonders zielgerichtet kann die Dampfzuführung bei einer solchen Verdrängermaschine mit zwei oder mehr Expansionsräumen gestaltet sein. Die Dampfzuführung kann in diesem Fall so gestaltet sein, dass zusätzlicher Dampf gezielt in den Expansionsraum zu leiten ist, wenn der Expansionsraum eine gewünschte Größe erreicht hat. Entsprechend dieser Größe befindet sich dann dort entsprechend expandierter und abgekühlter Arbeitsmedium-Dampf, der dann gezielt zu erwärmen ist. Der erwärmte Arbeitsmedium-Dampf kann dann im sich weiter vergrößernden Expansionsraum weiter expandieren, bis mit dem Expansionsraum ein Auslass erreicht ist, aus dem der Arbeitsmedium-Dampf und der zusätzliche Dampf austreten können. Dabei ist zumindest der Einlass für den Arbeitsmedium-Dampf räumlich so weit von der Dampfzuführung entfernt angeordnet, dass ein sich beim Einlass befindender Expansionsraum räumlich getrennt von einem sich bei der Dampfzuführung befindenden Expansionsraum ist. Bevorzugt ist der Auslass räumlich so weit von der Dampfzuführung entfernt angeordnet, dass sich ein beim Auslass befindender Expansionsraum räumlich getrennt von dem sich bei der Dampfzuführung befindenden Expansionsraum ist. Damit ist eine besonders zielgerichtete Temperaturerhöhung während des Expandierens in einer definierten Expansionszone möglich. Die definierte Expansionszone entspricht dabei der Größe des Expansionsraums an der Dampfzuführung.

[0027] Darüber hinaus ist erfindungsgemäß in vorteilhafter Weise mittels der Einstelleinrichtung ein Gegendruck auf das Arbeitsmedium derart zu erzeugen, dass die Abdampftemperatur den definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts aufweist. Ein Aufbau eines solchen Gegendrucks ist besonders energiesparend.

[0028] Mit dem derartigen Gegendruck ist beim Expandieren der niedrigere Druck zunächst nicht erreicht, sondern ein entsprechend des Gegendrucks erhöhter niedrigerer Druck. Dem erhöhten niedrigeren Druck ist ein entsprechend erhöhter Sattedampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig. Mittels des Gegendrucks ist der Arbeitsmedium-Dampf zunächst auf dem erhöhten niedrigeren Druck gehalten und weist dabei eine Abdampftemperatur auf, die diesem erhöhten Sattedampftemperaturwert entspricht. Bei einem weiteren Expandieren ist der entsprechend des Gegendrucks erhöhte niedrigere Druck dann auf den niedrigeren Druck restzu-

entspannen bzw. zu expandieren. Nach dem Restentspannen weist der Arbeitsmedium-Dampf eine Abdampftemperatur auf, die dem definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattedampftemperaturwerts entspricht. Eine Kondensation des Arbeitsmedium-Dampfes ist über den gesamten Expansionsprozess hinweg sicher vermieden.

[0029] Dazu ist bevorzugt eine Expansionseinrichtung zum Expandieren des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck vorgesehen, bei der der niedrigere Druck mittels eines zweistufigen Expansionsprozesses zu erreichen ist. Der erhöhte Druck ist dabei in einer ersten Expansionsstufe zunächst mittels des Erzeugens bzw. Aufbaus von Gegendruck auf einen ersten niedrigeren Druck zu expandieren. Danach ist der erste niedrigeren Druck in einer zweiten Expansionsstufe auf einen zweiten niedrigeren Druck zu expandieren, wobei der zweite niedrigere Druck dem oben genannten niedrigeren Druck nach dem Expandieren entspricht.

[0030] Dabei können die erste und die zweite Expansionsstufe in einer einzigen Expansionseinrichtung ablaufen. Besonders bevorzugt sind die erste Expansionsstufe in einer ersten Expansionseinrichtung und die zweite Expansionsstufe getrennt davon in einer zweiten Expansionseinrichtung durchzuführen. Die erste Expansionseinrichtung ist dabei insbesondere mit einer Verdrängermaschine gestaltet und die zweite Expansionseinrichtung bautechnisch einfach als ein Leitungselement innerhalb einer das Arbeitsmedium führenden Leitung. Die erste und zweite Expansionseinrichtung stellen dann insgesamt die Expansionseinrichtung dar.

[0031] Ferner umfasst die Einstelleinrichtung erfindungsgemäß vorteilhaft zum Erzeugen des Gegendrucks auf das Arbeitsmedium ein Sperrelement, das insbesondere mit einem Ventil zum wahlweisen Öffnen und Verschließen einer das Arbeitsmedium führenden Leitung gestaltet ist. Mittels des Sperrelements kann ein Arbeitsmedium-Strom bzw. Arbeitsmedium-Fluss des im Kreisprozess geführten Arbeitsmediums bautechnisch besonders einfach und schnell abgesperrt werden. Nach einem solchen Absperren baut sich der gewünschte Gegendruck auf das Arbeitsmedium auf. Der Gegendruck kann mit kurzen Reaktionszeiten bei Bedarf wieder abgebaut werden, indem das Sperrelement mit einem Ventil gestaltet ist, das einfach wieder geöffnet werden kann.

[0032] Bevorzugt ist das Sperrelement dabei innerhalb der Expansionseinrichtung zwischen der ersten und zweiten Expansionseinrichtung angeordnet, womit dann der beschriebene zweistufige Expansionsprozess ermöglicht ist.

[0033] Zudem ist in erfindungsgemäß vorteilhafter Weise das Arbeitsmedium in einer Kreislaufanordnung geführt und in Kreislaufanordnung nach der Expansionseinrichtung ist eine Kondensationseinrichtung zum Kondensieren des expandierten Arbeitsmediums vorgesehen, wobei die Einstelleinrichtung ein Temperaturrelement zum Messen einer Temperatur des Arbeitsmediums in Kreislaufanordnung nach dem Expandieren und vor

dem Kondensieren und/oder ein Druckmesselement zum Messen des Druckes des Arbeitsmediums in Kreislaufrichtung nach dem Expandieren und vor dem Kondensieren umfasst. Mit einem solchen Temperaturmesselement und/oder Druckmesselement ist eine Regelungseinrichtung geschaffen, mit der die Einstelleinrichtung in Abhängigkeit der gemessenen Temperatur und/oder des gemessenen Drucks zu regeln ist. Derart regelbar, kann mit der Einstelleinrichtung die Abdampftemperatur bedarfsgerecht und zuverlässig immer auf den gewünschten definierten Abdampftemperaturwert eingestellt werden.

[0034] Dabei misst das Temperaturmesselement insbesondere die Abdampftemperatur des Arbeitsmediums nach dem Expandieren. Die Abdampftemperatur ist auch von der Temperatur eines Eintrittsdampfes des Arbeitsmediums bei Eintritt in die Expansionseinrichtung abhängig. Zudem ist die Temperatur des Arbeitsmediums vor dem Kondensieren bzw. der Kondensationstemperaturwert bestimmbar. Der Kondensationstemperaturwert entspricht dabei insbesondere dem dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampftemperaturwert. Mit dem Druckmesselement kann insbesondere kurz vor dem Kondensieren ein aktuell gültiger Sattdampfdruckwert bzw. Kondensationsdruckwert des Arbeitsmediums gemessen werden, der abhängig von einer Kühlkapazität der Kondensationseinrichtung ist.

[0035] Ferner ist die Erfindung auf ein Verfahren zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses gerichtet, mit einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt wird, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattdampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie einem Schritt des Expandierens des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck auf einen niedrigeren Druck, wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck eine Abdampftemperatur aufweist. Dabei wird die Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert oberhalb des dem niedrigeren Druck zugehörigen Sattdampftemperaturwerts eingestellt.

[0036] Die Vorteile eines solchen erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den bereits bei der Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellten Vorteilen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0037] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Lösung anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 ein vereinfachtes Prozessschema einer Vorrichtung zum Umwandeln von thermischer Energie gemäß dem Stand der Technik,
 Fig. 2 ein schematisches Druck(log)-Enthalpie-Diagramm des thermodynamischen Kreisprozesses gemäß Fig. 1,

- Fig. 3 eine Dampfkurve eines im Kreisprozess geführten Arbeitsmediums,
 Fig. 4 das Detail IV gemäß Fig. 1 eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
 Fig. 5 ein schematisches Druck(log)-Enthalpie-Diagramm des thermodynamischen Kreisprozesses gemäß Fig. 4,
 Fig. 6 einen Querschnitt einer Verdrängermaschine der Vorrichtung gemäß Fig. 4,
 Fig. 7 das Detail IV gemäß Fig. 1 eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und
 Fig. 8 ein schematisches Druck(log)-Enthalpie-Diagramm des thermodynamischen Kreisprozesses Fig. 7.

Detaillierte Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0038] In den Fig. sind eine Vorrichtung 10 und ein zugehöriges Verfahren 12 zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle 14 dargestellt. Die Vorrichtung 10 bildet ein geschlossenes System einer Prozessanlage, in der ein thermodynamischer Kreisprozess 16 mittels eines im Kreisprozess 16 geführten Arbeitsmediums durchzuführen ist.

[0039] Der dargestellte thermodynamische Kreisprozess 16 ist ein modifizierter Organic-Rankine-Cycle-Process (ORC-Prozess), bei dem das Arbeitsmedium ein organisches Arbeitsmedium ist. Vorliegend ist das Arbeitsmedium mit Ammoniak gestaltet, bevorzugt mit wasserfreiem Ammoniak (NH_3 , R 717) in einer Konzentration von über 99,6 Massenprozent. Mit einem solchen nahezu reinen Ammoniak können die physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften von Ammoniak ohne störende Einflüsse von anderen Stoffen ausgenutzt werden. So hat flüssiges Ammoniak eine hohe Verdampfungsenthalpie, womit relativ viel Energie aufgewendet werden muss, um Ammoniak von seinem flüssigen in seinen gasförmigen Aggregatzustand zu überführen. Es kann also entsprechend viel Energie im gasförmigen Ammoniak gespeichert werden und dann beim Expandieren in mechanische Energie umgesetzt werden.

[0040] Als Wärmequelle 14 dienen Niedertemperatur-Wärmequellen. Dabei kann die Wärmequelle 14 eine einzige Wärmequelle 14 oder mit zwei verschiedenen Wärmequellen 14 und 17 mit gestaltet sein. In den dargestellten Ausführungsbeispielen werden zwei verschiedene Wärmequellen energetisch verwertet, bei denen die Wärmequelle 14 eine niedrigere Temperatur als die Wärmequelle 17 aufweist. Dabei ist die Wärmequelle 14 eine Motorabwärme und die Wärmequelle 17 eine Abgasabwärme eines Verbrennungsmotors eines Blockheizkraftwerks.

[0041] In einem zum Kreisprozess 16 gehörenden Sammelbehälter 18 wird das Arbeitsmedium in Form eines druckverflüssigten Gases bereitgestellt. Dabei steht

das Arbeitsmedium unter einem Druck, der als niedrigerer Druck 20 ein unteres Druckniveau des thermodynamischen Kreisprozesses 16 darstellt. Ausgehend von dem Sammelbehälter 18 führt eine Leitung 22 das Arbeitsmedium in einer Kreislaufrichtung 24 zu einer Druckerhöhungseinrichtung 26. Mit der Druckerhöhungseinrichtung 26 ist der Druck, dem das Arbeitsmedium ausgesetzt ist, von dem niedrigeren Druck 20 auf einen Druck zu erhöhen, der als erhöhter Druck 28 ein oberes Druckniveau des Kreisprozesses 16 darstellt.

[0042] In Kreislaufrichtung 24 anschließend wird das flüssige Arbeitsmedium von der Druckerhöhungseinrichtung 26 durch die Leitung 22 zu einer Wärmeübertragungseinrichtung 30 gepumpt. Die Wärmeübertragungseinrichtung 30 umfasst einen ersten Wärmeübertrager 32 und einen in Reihe geschalteten zweiten Wärmeübertrager 34. Der erste Wärmeübertrager 32 ist wärmeübertragend mittels einer Leitung 36 geführtes Übertragungsmedium mit der Wärmequelle 14 gekoppelt. Dementsprechend ist der zweite Wärmeübertrager 34 mittels einer Leitung 38 geführtes Übertragungsmedium mit der Wärmequelle 17 gekoppelt.

[0043] Zwischen den beiden Wärmeübertragern 32 und 34 ist ein Abscheider 40 mit einem unteren Raumbereich 42 und einem oberen Raumbereich 44 angeordnet. In den oberen Raumbereich 44 ist das flüssige Arbeitsmedium mittels der Leitung 22 geführt. Das flüssige Arbeitsmedium trennt sich von gegebenenfalls vorhandenem gasförmigem Arbeitsmedium ab und sinkt in den unteren Raumbereich 42. Von dort führt eine Leitung 46 das derart abgetrennte flüssige Arbeitsmedium in den ersten Wärmeübertrager 32, der als Vorerwärmer und Verdampfer dient. Dort wird das flüssige Arbeitsmedium mittels Übertragens von thermischer Energie aus der ersten Wärmequelle 14 vorerwärmt und größtenteils verdampft. Ein derart erzeugter Arbeitsmedium-Dampf ist ein Nassdampf. Dies bedeutet, dass noch kleine Tropfen und fein verteiltes flüssiges Arbeitsmedium als Kondensatanteil im gasförmigen Arbeitsmedium vorhanden sind. Der Nassdampf ist aus dem ersten Wärmeübertrager 32 durch eine Leitung 48 in den oberen Raumbereich 44 des Abscheiders 40 geführt. Dabei sinkt der Kondensatanteil in den unteren Raumbereich 42 und sammelt sich dort als flüssiges Arbeitsmedium, während im oberen Raumbereich 44 nur gasförmiges Arbeitsmedium verbleibt. Es kann also ein besonders trockenes gasförmiges Arbeitsmedium erzeugt werden. Das flüssige Arbeitsmedium gelangt aus dem unteren Raumbereich 42 durch die Leitung 46 wieder zurück in den ersten Wärmeübertrager 32 zum erneuten Erwärmen.

[0044] Mit dem Abscheider 40, den in dessen oberen Raumbereich 44 führenden Leitungen 22 und 48 sowie der aus dessen unteren Raumbereich 42 führenden Leitung 46 ist ein Verdampfen gemäß eines Thermo-Siphon-Prinzips ermöglicht. Dieses Prinzip beruht darauf, dass sich beim Verdampfen im ersten Wärmeübertrager 32 die Dichte des dort befindlichen Arbeitsmediums auf-

grund des gebildeten Nassdampfs verringert. Damit drängt der Nassdampf durch die Leitung 48 in den Abscheider 40. Ferner fließt immer genau so viel flüssiges Arbeitsmedium aus dem unteren Raumbereich 42 des Abscheiders 40 durch die Leitung 46 in den Wärmeübertrager 32 nach, das gerade zum Verdampfen benötigt wird. Im Abscheider 40 ist ein nicht dargestellter Niveauregler vorgesehen, mit dem die Druckerhöhungseinrichtung 26 derart zu regeln ist, dass nur so viel Arbeitsmedium zum ersten Wärmeübertrager 32 gepumpt wird, das auch verdampft werden kann.

[0045] Aus dem Abscheider 40 ist das gasförmige Arbeitsmedium aus dem oberen Raumbereich 44 durch eine Leitung 50 in den zweiten Wärmeübertrager 34 geführt. Der zweite Wärmeübertrager 34 dient als Überhitzer, mit dem das gasförmige Arbeitsmedium beim Übertragen von thermischer Energie aus der Wärmequelle 17 zu überhitzen ist. Der überhitzte Arbeitsmedium-Dampf ist dann aus dem zweiten Wärmeübertrager 34 durch eine Leitung 52 mittels eines Eintrittsventils 54 in eine Expansionseinrichtung 56 geführt.

[0046] Mit der Expansionseinrichtung 56 ist der überhitzte Arbeitsmedium-Dampf von dem erhöhten Druck 28 auf den niedrigeren Druck 20 zu expandieren, wobei zugleich die Temperatur des Arbeitsmediums sinkt. Die dabei freiwerdende Energie wird als mechanische Energie auf die Expansionseinrichtung 56 übertragen, die als Antriebsaggregat für einen an die Expansionseinrichtung 56 gekoppelten Generator 58 zum Erzeugen von elektrischer Energie dient.

[0047] Vorliegend ist eine zur Expansionseinrichtung 56 parallel geschaltete weitere Expansionseinrichtung vorgesehen, in die mittels eines zugehörigen weiteren Eintrittsventils der komprimierte und überhitzte Arbeitsmedium-Dampf geführt ist. Zur besseren Übersicht ist die weitere Expansionseinrichtung mit ihren zugehörigen Bauteilen mit den gleichen Bezugszeichen wie die Expansionseinrichtung 56 benannt. Mit einer solchen Parallelschaltung der Expansionseinrichtungen 56 ist ein über die Zeit hinweg besonders gleichmäßiges Expandieren des überhitzten Arbeitsmedium-Dampfes ohne große Pulsationen möglich. Sofern erforderlich, kann zudem eine größere Menge an Arbeitsmedium-Dampf expandiert werden. Damit kann insgesamt eine gleichmäßige und hohe Leistung aus dem Kreisprozess 16 abgenommen werden. Zur Verbesserung dieses Effekts können auch mehr als zwei parallel geschaltete Expansionseinrichtungen 56 vorgesehen sein.

[0048] Der expandierte Arbeitsmedium-Dampf ist in Kreislaufrichtung 24 nach der Expansionseinrichtung 56 durch eine Leitung bzw. Abdampfleitung 60 aus der Expansionseinrichtung 56 herausgeführt und durch eine Kondensationseinrichtung 62 geleitet. Mit der Kondensationseinrichtung 62 wird der expandierte Arbeitsmedium-Dampf abgekühlt und kondensiert. Das kondensierte Arbeitsmedium ist in den Sammelbehälter 18 geleitet, der in der Leitung 22 in Kreislaufrichtung 24 nach der Kondensationseinrichtung 62 angeordnet ist. Mit dem

Kondensieren ist der thermodynamische Kreisprozess 16 geschlossen und kann je nach Bedarf entsprechend oft wiederholt werden.

[0049] Des Weiteren verfügt die Vorrichtung 10 über einen Ölversorgungskreislauf 64 mit jeweils einer Ölzufuhrleitung 66, durch die ein Öl mittels jeweils eines zugehörigen Öleintrittsventils 68 in die jeweils zugehörige Expansionseinrichtung 56 zu führen ist. Das Öl dient zum Abdichten und Schmieren von Bauteilen der Expansionseinrichtung 56. Während des Expandierens des Arbeitsmedium-Dampfes kann das Öl in der Expansionseinrichtung 56 in den Arbeitsmedium-Dampf gelangen. Deswegen ist der expandierte Arbeitsmedium-Dampf zusammen mit dem Öl aus jeder Expansionseinrichtung 56 durch die zugehörige Abdampfleitung 60 in einen jeweils zugehörigen Ölabscheider 70 geführt. Mit dem Ölabscheider 70 ist das Öl aus dem expandierten Arbeitsmedium-Dampf abzuschcheiden. Dazu ist im Ölabscheider 70 oben angeordnet ein Trennelement 71 als mechanischer Ölabscheider gestaltet. Das Trennelement 71 trennt das Öl als Flüssigkeit von dem expandierten Arbeitsmedium-Dampf als Gas mechanisch und aufgrund unterschiedlicher Dichten von Flüssigkeit und Gas ab.

[0050] Der derart gereinigte expandierte Arbeitsmedium-Dampf ist aus dem Ölabscheider 70 durch die Abdampfleitung 60 weiter im Kreisprozess 16 zur Kondensationseinrichtung 62 geführt.

[0051] Das abgeschiedene Öl ist aus jedem Ölabscheider 70 durch eine zugehörige Ölabbfuhrleitung 72 in einen Ölsammelbehälter 74 geleitet. Dabei kann das abgeschiedene Öl einen Anteil an flüssigem Arbeitsmedium enthalten, das sich beim Expandieren des Arbeitsmedium-Dampfes in herkömmlicher Weise gebildet hat. Zum Entfernen dieses Anteils an flüssigem Arbeitsmedium ist im Ölsammelbehälter 74 ein Ölheizkörper 76 vorgesehen. Mit dem Ölheizkörper 76 ist das abgeschiedene Öl so lange und so weit zu erhitzen, bis der Anteil an flüssigem Arbeitsmedium nahezu vollständig aus dem Öl ausgedampft bzw. ausgetrieben ist. Ein dabei entstehender Arbeitsmedium-Dampf ist mittels einer Dampfleitung 78 aus dem Ölsammelbehälter 74 in Kreislaufrichtung 24 zwischen dem Ölabscheider 70 und der Kondensationseinrichtung 62 zurück in die Abdampfleitung 60 und damit in den Kreisprozess 16 geführt.

[0052] In der Ölzufuhrleitung 66 ist ferner eine Ölpumpe 80 angeordnet, mit der das abgeschiedene und von flüssigem Arbeitsmedium gereinigte Öl durch die Ölzufuhrleitung 66 erneut in die Expansionseinrichtung 56 geführt ist. Zudem umfasst der Ölheizkörper 76 eine ein Heizmedium führende Heizkreislaufrichtung 82, die mit der zweiten Wärmequelle 17 wärmeübertragend gekoppelt ist.

[0053] Fig. 2 zeigt ein schematisches Druck(log)-Enthalpie-Diagramm des thermodynamischen Kreisprozesses 16 des Verfahrens 12, das mittels der Vorrichtung 10 gemäß Fig. 1 durchführbar ist. Dabei ist an der Ordinate der Logarithmus des Druckes 83 und an der

Abszissenachse die Enthalpie 84 aufgetragen. Die dargestellte bogenförmige Linie gibt eine Phasengrenzlinie 85 des Arbeitsmediums wieder. So lange die Phasengrenzlinie 85 steigt, handelt es sich dabei um die Siedelinie, an der ein Übergang von gesättigtem flüssigem Arbeitsmedium in Nassdampf erfolgt. Fällt die Phasengrenzlinie 85, so stellt sie die Taulinie dar, die einen Übergang des Nassdampfes zu einem gesättigten Arbeitsmedium-Dampf markiert. Bei dem derartigen Übergang wird der Dampf auch als Satttdampf bezeichnet. Eine von der Phasengrenzlinie 85 und der Abszissenachse eingeschlossene Fläche ist ein Nassdampfgebiet 86 des Arbeitsmediums, in dem zugleich Arbeitsmedium-Dampf als gasförmige Phase und flüssiges Arbeitsmedium als flüssige Phase vorliegen.

[0054] Ausgehend von dem unter dem niedrigeren Druck 18 stehenden flüssigen Arbeitsmedium wird in einem Verfahrensschritt bzw. Schritt 88 des Druckerhöhens das Arbeitsmedium mittels der Druckerhöhungseinrichtung 26 unter den erhöhten Druck 28 gesetzt. Ammoniak wird von einem niedrigeren Druck 18 von etwa 8,4 bar und einer Temperatur von etwa 23 °C unter einen erhöhten Druck 28 von etwa 37 bar und eine Temperatur von etwa 30 °C gesetzt.

[0055] Dabei sind alle hier angegebenen Druckwerte als absolute Druckwerte zu verstehen.

[0056] Mit dem ersten Wärmeübertrager 32 wird in einem Schritt 90 des Vorerwärmens das unter dem erhöhten Druck 28 stehende Arbeitsmedium auf einen dem erhöhten Druck 28 zugehörigen Verdampfungstemperaturwert isobar erwärmt. Bei Ammoniak liegt dieser Wert bei etwa 76 °C. Nachfolgend wird in einem Schritt 92 des Verdampfens das noch flüssige, auf den Verdampfungstemperaturwert vorerwärmte Arbeitsmedium isobar verdampft. Während des Schrittes 92 wird dem Arbeitsmedium der Hauptanteil der thermischen Energie zugeführt. Beim Verdampfen bleibt die Temperatur des Arbeitsmediums gleich.

[0057] Nachfolgend wird mittels des zweiten Wärmeübertragers 34 in einem Schritt 94 des Überhitzens der im Schritt 92 erzeugte Arbeitsmedium-Dampf auf eine Endtemperatur isobar überhitzt. Die Endtemperatur beträgt bei Ammoniak etwa 120 °C.

[0058] Der derart überhitzte Arbeitsmedium-Dampf wird als überhitztes Ammoniakgas in einem Schritt 96 des Expandierens mittels den zwei parallel geschalteten Expansionseinrichtungen 56 adiabatisch expandiert. Adiabatisch bzw. adiabat bedeutet, dass bei der Expansion keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird. Bei der Expansion findet die eigentliche Umsetzung der thermischen Energie in mechanische Energie statt. Dabei weist das in die Expansionseinrichtung 56 eintretende Arbeitsmedium den erhöhten Druck 28 als Eintrittsdruck und die Temperatur des überhitzten Arbeitsmedium-Dampfes als Eintrittstemperatur auf. Das aus der Expansionseinrichtung 56 austretende Arbeitsmedium weist dann den niedrigeren Druck 20 als Abdampfdruck und eine Abdampftemperatur auf, die niedriger ist als die

Eintrittstemperatur. Eintretendes Ammoniak hat den erhöhten Druck 28 von etwa 37 bar und die Eintrittstemperatur von etwa 120 °C und austretendes Ammoniak hat den niedrigeren Druck 20 von etwa 8,4 bar und die Abdampftemperatur von etwa 23 °C. Dabei ist im austretenden Arbeitsmedium-Dampf ein flüssiger Anteil im Abdampf enthalten, da sowohl die Eintrittstemperatur als auch die Abdampftemperatur gewissen Toleranzen unterworfen sind. Bereits bei einer etwas tieferen Eintrittstemperatur bildet sich ein Kondensat im Abdampf. Die dann erreichte Abdampftemperatur, also der Endpunkt des Schrittes 96 des Expandierens, befindet sich im Nassdampfgebiet 86.

[0059] Anschließend wird das entspannte und aus der Expansionseinrichtung 56 austretende Arbeitsmedium in einem Schritt 98 des Kondensierens mittels der Kondensationseinrichtung 62 isobar kondensiert und erreicht damit wieder seinen Ausgangszustand im Kreisprozess 16.

[0060] Fig. 3 zeigt eine Sättigungsdampfdruckkurve bzw. Dampfdrucklinie bzw. Dampfkurve 100 des im Kreisprozess 16 geführten Arbeitsmediums, vorliegend die Dampfkurve 100 von Ammoniak. Dabei ist an der Ordinatenachse der Druck und an der Abszissenachse die Temperatur aufgetragen. Die gekrümmte Linie gibt die Dampfkurve 100 des Arbeitsmediums wieder und ist die Phasengrenzlinie zwischen flüssigem und gasförmigem Arbeitsmedium. Dementsprechend kann an der Dampfkurve 100 abgelesen werden, welcher Sattedampftemperaturwert einem jeweiligen Druck des Arbeitsmediums zugehörig ist, bei dem gasförmiges Arbeitsmedium zu kondensieren beginnt. Zum niedrigeren Druck 20 gehört der Sattedampftemperaturwert 102, der für Ammoniak einen Wert von 23 °C bei einem niedrigeren Druck 20 von 8,4 bar hat.

[0061] Fig. 4 und Fig. 7 zeigen einen Ausschnitt der Vorrichtung 10, bei der im Unterschied zur Vorrichtung 12 gemäß Fig. 1 eine Einstelleinrichtung 104 zum Einstellen der Abdampftemperatur des Arbeitsmediums nach dem Schritt 96 des Expandierens vorgesehen ist. Mittels der Einstelleinrichtung 104 wird die Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert 106 oberhalb des dem niedrigeren Druck 20 zugehörigen Sattedampftemperaturwerts 102 eingestellt. Der definierte Abdampftemperaturwert 106 liegt dabei zwischen 4 K und 8 K oberhalb des dem niedrigeren Druck 20 zugehörigen Sattedampftemperaturwerts 102.

[0062] Gemäß Fig. 4 umfasst die Einstelleinrichtung 104 eine Dampfzuführung 108 zum Zuführen von Dampf während des Schrittes 96 des Expandierens in jede Expansionseinrichtung 56. Das derartige Zuführen von Dampf wird auch als Zwischeneinspritzung bezeichnet. Mit einer solchen Dampfzuführung 108 kann die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes beim Expandieren derart erhöht werden, dass die Abdampftemperatur des Arbeitsmediums nach dem Schritt 96 den definierten Abdampftemperaturwert 106 aufweist.

[0063] Dazu ist die Dampfzuführung 108 mit jeweils

einer Dampfzuführleitung 110 und einem darin angeordneten zusätzlichen Eintrittsventil 112 gestaltet, die in Kreislaufrichtung 24 nach dem Eintrittsventil 54 in die zugehörige Expansionseinrichtung 56 führen. Zudem ist die Dampfzuführleitung 110 fluidleitend mit der Leitung 52 verbunden. Derart verbunden, kann der mittels des zweiten Wärmeübertragers 34 überhitzte Arbeitsmedium-Dampf aus der Leitung 52 durch das zusätzliche Eintrittsventil 112 in die Expansionseinrichtung 56 geleitet werden. Dabei wird der überhitzte Arbeitsmedium-Dampf in einem fortgeschrittenen Stadium, insbesondere gegen Ende des Schrittes 96 des Expandierens in die Expansionseinrichtung 56 geleitet.

[0064] Ferner umfasst die Einstelleinrichtung 104 gemäß Fig. 4 jeweils ein zu jeder Expansionseinrichtung 56 gehöriges Temperaturmesselement 114, das in Kreislaufrichtung 24 nach dem Expandieren kurz nach jedem Ölabscheider 70 angeordnet ist. Derart angeordnet, ist mittels des Temperaturmesselements 114 die Abdampftemperatur des Arbeitsmediums bestimmbar. Zudem sind ein in Kreislaufrichtung 24 kurz vor der Kondensationseinrichtung 62 angeordnetes Temperaturmesselement 116 und ein kurz davor angeordnetes Druckmesselement 118 vorgesehen.

[0065] Das der Kondensationseinrichtung 62 zugehörige Druckmesselement 118 und Temperaturmesselement 116 sind mit jeweils dem zu einer Expansionseinrichtung 56 gehörigen Temperaturmesselement 114 gekoppelt. Dazu sind die Messwerte in jeweils eine zu jeder Expansionseinrichtung 56 gehörige Regeleinrichtung 120 übertragbar. Die Regeleinrichtung 120 öffnet und schließt das zusätzliche Eintrittsventil 112 dann zum Zuführen von Dampf in die Expansionseinrichtung 56 in Abhängigkeit des Messergebnisses.

[0066] Dazu wird mit dem Druckmesselement 118 jeweils ein im Kreisprozess 16 aktuell gültiger Druckwert des niedrigeren Drucks 20 kurz vor der Kondensationseinrichtung 62 gemessen. Der niedrigere Druck 20 kann je nach Eintrittsdruckwert des erhöhten Drucks 28 in die Expansionseinrichtung 56 und je nach Kondensationstemperatur der Kondensationseinrichtung 62 variieren.

[0067] Entsprechend des gemessenen Druckwerts des niedrigeren Drucks 20 ergibt sich gemäß der in der Regeleinrichtung 120 hinterlegten Dampfkurve 100 der zugehörige aktuell gültige Sattedampftemperaturwert 102. Je nach gültigem Sattedampftemperaturwert 102 wird mittels der Regeleinrichtung 120 das zusätzliche Eintrittsventil 112 so lange und/oder so weit geöffnet, bis mit dem Temperaturmesselement 114 der definierte Abdampftemperaturwert 106 gemessen wird. Je nach Zeitdauer und Öffnungsweite des Eintrittsventils 112 wird damit eine entsprechende Menge an zusätzlichem Dampf zugeführt, bis der definierte Abdampftemperaturwert 106 erreicht und insbesondere konstant gehalten ist.

[0068] Alternativ oder zusätzlich kann mit dem Temperaturmesselement 116 der Temperaturwert des Arbeitsmediums vor der Kondensationseinrichtung 62 be-

stimmt werden. Dieser gemessene Temperaturwert entspricht einem aktuell gültigen Sattdampf Temperaturwert 102, der von einer Kühlkapazität der Kondensationseinrichtung 62 abhängig ist. Die Kühlkapazität kann entsprechend der Temperatur des Kühlmittels variieren. Insbesondere wenn das Kühlmittel bautechnisch besonders einfach und kostengünstig Luft aus der Umgebung ist, ist die Kühlkapazität direkt von der herrschenden Außentemperatur abhängig. Je nach gemessenem, aktuell gültigem Sattdampf Temperaturwert 102 wird mittels der Regeleinrichtung 120 das zusätzliche Eintrittsventil 112 so lange und/oder so weit geöffnet, bis mit dem Temperaturmesselement 114 der definierte Abdampf Temperaturwert 106 gemessen wird.

[0069] In Abhängigkeit des gemessenen, aktuell gültigen Sattdampf Temperaturwerts 102 ist gemäß der Dampfkurve 100 der zugehörige Sattdampfdruckwert bestimmbar. Dieser Sattdampfdruckwert entspricht dem geltenden niedrigeren Druck 20.

[0070] In Fig. 5 sind im Unterschied zum Diagramm gemäß Fig. 2 zusätzlich Linien eingetragen, die den Isothermen entsprechen, also Linien gleicher Temperatur. Dabei bezeichnet 122 die 20 °C-Isotherme 122 und 124 die 30 °C-Isotherme 124. Zudem ist entlang des Schrittes 96 erkennbar, wie sich die Temperatur des Arbeitsmediums beim Zuführen von überhitztem Arbeitsmedium-Dampf gegen Ende des Expandierens mittels der Dampfzuführung 108 erhöht. Bei Erreichen des niedrigeren Drucks 20 hat das Arbeitsmedium den definierten Abdampf Temperaturwert 106 oberhalb des dem niedrigeren Druck 20 zugehörigen Sattdampf Temperaturwerts 102. Damit befindet sich der Endpunkt des Schrittes 96 relativ weit außerhalb des Nassdampfgebiets 86, sodass ein Kondensat im Abdampf zuverlässig vermieden ist. Bei Ammoniak weist der definierte Abdampf Temperaturwert 106 etwa 28 °C auf und liegt damit etwa 5 K oberhalb des Sattdampf Temperaturwerts 102 von etwa 23 °C bei dem niedrigeren Druck 20 von etwa 8,4 bar.

[0071] Fig. 6 zeigt die Expansionseinrichtung 56, die in der Vorrichtung 10 gemäß Fig. 4 verwendet und mit einer Drehschiebermaschine als Verdrängermaschine gestaltet ist. Die Drehschiebermaschine ist ein Umlaufkolbenexpander, der entgegengesetzt eines Umlaufkolbenverdichters arbeitet und vorliegend ein Flügelzellenexpander ist.

[0072] Ein solcher Flügelzellenexpander weist ein Ringgehäuse 126 mit einem Einlass 128 und einem Auslass 130 auf. Der Einlass 128 dient zum Einlassen des unter dem erhöhten Druck 28 stehenden Arbeitsmedium-Dampfes und der Auslass 130 zum Auslassen des expandierten Arbeitsmedium-Dampfes. Dabei ist jede Strömungsrichtung des Arbeitsmedium-Dampfes mit einem Strömungspfeil angedeutet. Das Ringgehäuse 126 ist mit einem zylinderförmigen Hohlzylinder gebildet, dessen innere Mantelfläche eine innere Ringwand 132 bildet. Im Ringgehäuse 126 ist exzentrisch zur Achse des Hohlzylinders ein Drehkolben 134 zentrisch um eine Welle 136 rotierbar gelagert. Der Drehkolben 134 umfasst

entlang seiner Längserstreckung acht Nuten 138, in denen jeweils ein zugehöriger Schieber 140 radial hin und her verschiebbar gelagert ist.

[0073] Zum Begrenzen des Ringgehäuses 126 sind in axialer Richtung zwei gegenüberliegende, nicht dargestellte Begrenzungsflächen vorgesehen. Die beiden Begrenzungsflächen grenzen zusammen mit dem Drehkolben 134, der inneren Ringwand 132 und den acht Schiebern 140 acht Zellen 142 mit jeweils einem variablen Volumen 144 ab.

[0074] Das einzelne variable Volumen 144 ist dadurch gebildet, dass der jeweilige Schieber 140 im Laufe einer Rotation durch wirkende Fliehkräfte abdichtend gegen die Ringwand 132 gedrückt wird. Dadurch, dass der Drehkolben 134 im Ringgehäuse 126 exzentrisch gelagert ist, variiert während der Rotationsbewegung der Abstand zwischen dem Drehkolben 134 und der Ringwand 132. Deswegen wird der jeweilige Schieber 140 beim Drehen in der zugehörigen Nut 138 hin und her geschoben. Bei einem sich vergrößernden Abstand wird der Schieber 140 aus der zugehörigen Nut 138 ausgeschoben, bis das Maximum des Abstands und damit auch das Volumenmaximum des Volumens 144 erreicht ist. Daran anschließend verkleinert sich der Abstand wieder und der Schieber 140 wird beim Entlanggleiten an der Ringwand 132 sozusagen von der Ringwand 132 in die zugehörige Nut 138 eingeschoben, bis das Minimum des Abstands und damit auch das Volumenminimum des Volumens 144 erreicht ist.

[0075] Das variable Volumen 144 nimmt während der Rotationsbewegung vom Einlass 128 bis zum Auslass 130 zu, sodass beim Durchleiten des von unter dem erhöhten Druck 28 stehenden Arbeitsmedium-Dampfes dieser Arbeitsmedium-Dampf expandiert wird. Beim Expandieren drückt der Arbeitsmedium-Dampf in Umlaufrichtung gegen jeweils einen Schieber 140, sodass die Rotationsbewegung in Gang gesetzt und gehalten wird. Damit wird die Welle 136 angetrieben, die ihrerseits den Generator 58 zum Erzeugen von elektrischem Strom antreibt.

[0076] Das variable Volumen 144 jeder Zelle 142 ist dabei in seiner Größe von einem der Rotationsbewegung zugehörigen Drehwinkel abhängig, der in einzelne aufeinanderfolgende Drehwinkelzonen eingeteilt werden kann. So weist das Volumen 144 in einer Drehwinkelzone 146 sein Volumenminimum auf. Am Einlass 128 nimmt das Volumen 144 in einer Drehwinkelzone 148 während des Einstromens des verdichteten Arbeitsmedium-Dampfes langsam zu und wird in der Drehwinkelzone 150 bis zu seinem Volumenmaximum entspannt. Beim Entspannen sinkt die Temperatur des Arbeitsmedium-Dampfes. Vor Erreichen des Volumenmaximums wird durch die Dampfzuführleitung 110 hindurch mittels der Dampfzuführung 108 überhitzter Arbeitsmedium-Dampf in jede Zelle 142 zugeführt bzw. zwischeneingespritzt. Dank des zwischeneingespritzten Arbeitsmedium-Dampfes wird die Temperatur des sich entspannenden Arbeitsmedium-Dampfes so weit angehoben, dass die

Abdampf­temperatur des durch den Auslass 130 austretenden Arbeitsmedium-Dampfes den definierten Abdampf­temperaturwert 106 aufweist. Der derart zwischen­erhitzte und am Volumenmaximum entspannte Arbeitsmedium-Dampf strömt anschließend in einer Drehwinkelzone 152 bis auf ein kleines Restvolumen aus dem Auslass 130 aus. Der durch den Auslass 130 austretende Arbeitsmedium-Dampf jeder Zelle 142 ist dabei der durch den Einlass 128 eingelassene Arbeitsmedium-Dampf zusammen mit dem zwischeneingespritzten Arbeitsmedium-Dampf. Das Restvolumen verbleibt in der jeweiligen Zelle 142 und wird über die Drehwinkelzone 146 verdichtet bis am Einlass 128 erneut komprimierter Arbeitsmedium-Dampf einströmt. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch.

[0077] Das Expansionsverhältnis, das heißt das Verhältnis zwischen dem Volumen 144 am Einlass 128 und dem Volumen 144 am Auslass 130 ist auf 1 zu 3 bis 1 zu 4 eingestellt und damit für das Arbeitsmedium Ammoniak speziell angepasst.

[0078] Zum Abdichten und Schmieren der zwischen der jeweiligen Nut 138 und des zugehörigen Schiebers 140 auftretenden radialen und axialen Schieberspalten ist die Ölzuführleitung 66 zum Zuführen von Öl vorgesehen (Fig. 4). Mit dem Öl ist speziell auch die Lauffläche des Schiebers 140 entlang der Ringwand 132 abgedichtet und geschmiert. Das Öl vermischt sich beim Expandieren des Arbeitsmedium-Dampfes wie bereits beschrieben mit dem Arbeitsmedium-Dampf und ist durch die Abdampfleitung 60 durch den Ölabscheider 70 aus der Expansionseinrichtung 56 wieder abzuführen. Im Ölabscheider 70 scheidet sich das Öl wieder um Arbeitsmedium-Dampf ab. Dadurch, dass im abgeschiedenen Öl mittels der Vorrichtungen 10 gemäß Fig. 4 und Fig. 7 ein Anteil an flüssigem Arbeitsmedium zuverlässig vermieden wird, kann der ansonsten erforderliche Ölheiz­er 76 gemäß Fig. 1 kosten- und energiesparend entfallen.

[0079] Bei der Vorrichtung 10 gemäß Fig. 7 ist mittels der Einstelleinrichtung 104 ein Gegendruck auf das Arbeitsmedium derart zu erzeugen, dass die Abdampf­temperatur des expandierten Arbeitsmediums den definierten Abdampf­temperaturwert 106 oberhalb des dem niedrigeren Druck 20 zugehörigen Sattedampf­temperatur­werts 102 aufweist. Dazu ist ein Ventil bzw. Abdampf­regelventil 154 als Sperrelement 156 vorgesehen, mit dem die Abdampfleitung 60 abgesperrt werden kann. Derart abgesperrt, wird ein Abbau von Druck des Arbeitsmediums in Kreislauf­richtung 24 verhindert. Das Arbeitsmedium wird in der Abdampfleitung 60 entgegen der Kreislauf­richtung 24 bzw. der Strömungsrichtung angestaut, wodurch der gewünschte Gegendruck erzeugt werden kann. Mit einem Öffnen des Abdampf­regelventils 154 kann der Gegendruck bei Bedarf wieder abgebaut werden.

[0080] Zum Regeln des Abdampf­regelventils 154 umfasst die Einstelleinrichtung 104 der Vorrichtung 10 gemäß Fig. 7 das Temperatur­messelement 114 nach dem Expandieren in Kreislauf­richtung 24 kurz vor dem Ab-

dampf­regelventil 154. Nach dem Abdampf­regelventil 154 und kurz vor der Kondensationseinrichtung 62 ist das Temperatur­messelement 116 angeordnet, mit dem dort der aktuell gültige Sattedampf­temperaturwert 102 des Arbeitsmediums, wie zu Fig. 4 beschrieben, bestimmbar ist. Zudem ist das Druck­messelement 118 in Kreislauf­richtung 24 nach dem Abdampf­regelventil 154 und kurz vor der Kondensationseinrichtung 62 vorgesehen. Mit dem Druck­messelement 118 kann jeweils ein im Kreisprozess 16 aktuell gültiger Druckwert des niedrigeren Drucks 20 kurz vor der Kondensationseinrichtung 62 entsprechend den Ausführungen zu Fig. 4 gemessen werden.

[0081] Die Temperatur­messelemente 114 und 116 sowie das Druck­messelement 118 sind messwertübertragend mit der Regeleinrichtung 120 gekoppelt, die das Abdampf­regelventil 154 je nach Messergebnis verschließt oder öffnet. Entsprechend des gemessenen Druckwerts des niedrigeren Drucks 20 und damit des aktuell gültigen Sattedampf­drucks ergibt sich gemäß der in der Regeleinrichtung 120 hinterlegten Dampfkurve 100 der zugehörige aktuell gültige Sattedampf­temperaturwert 102. Je nach gültigem Sattedampf­temperaturwert 102 wird mittels der Regeleinrichtung 120 das Abdampf­regelventil 154 so lange und/oder so weit geschlossen, bis mit dem Temperatur­messelement 114 bzw. 116 der definierte Abdampf­temperaturwert 106 gemessen wird.

[0082] In Fig. 8 ist ersichtlich, dass mittels des Abdampf­regelventils 154 der Abdampf­druck auf einen ersten niedrigeren Druck 158 angehoben wird, der etwas höher ist als der niedrigere Druck 20. Damit wird der überhitzte Arbeitsmedium-Dampf mittels der Expansionseinrichtung 56 in einer ersten Expansionsstufe 160 zunächst auf den ersten niedrigeren Druck 158 entspannt. Bei Ammoniak liegt dieser erste niedrigere Druck 158 etwa 12 bar. Diesem ersten niedrigeren Druck 158 ist gemäß der Dampfkurve 100 eine Sattedampf­temperatur von etwa 33 °C zugehörig.

[0083] In Kreislauf­richtung 24 nach dem Abdampf­regelventil 154 wird der erste niedrigere Druck 158 dann in einer zweiten Expansionsstufe 162 auf einen zweiten niedrigeren Druck restentspannt, der dem den niedrigeren Druck 20 entspricht. Der niedrigere Druck 20 ist der Kondensationsdruck des Arbeitsmediums, das heißt der Druck, bei dem das Arbeitsmedium in der Kondensationseinrichtung 62 kondensiert wird. Der Fig. 8 kann entnommen werden, dass die Temperatur des Arbeitsmediums nach dem Restentspannen beim niedrigeren Druck 20 den definierten Abdampf­temperaturwert 106 oberhalb der dem niedrigeren Druck 20 zugehörigen Sattedampf­temperaturwert 102 aufweist. Der Endpunkt des Schrittes 96 befindet sich also außerhalb des Nassdampf­gebiets 86, womit ein Kondensieren des Arbeitsmedium-Dampfes verhindert ist.

[0084] In einem weiteren nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Druckerhöhungs­reinrichtung 26 mit einer Dampfpumpe gestaltet. Die Dampfpumpe dient zum Erhöhen des Druckes auf das Arbeitsmedium unter

Einwirkung von Dampf auf das Arbeitsmedium. Dazu ist die Dampfpumpe wärmeübertragend mittels der Wärmeübertragungseinrichtung 30 und eines Dampfüberfuhrmittels an die Wärmequelle 14 gekoppelt. Der mit der Wärmeübertragungseinrichtung 30 gebildete Arbeitsmedium-Dampf ist zum Teil von dem Dampfüberfuhrmittel in die Dampfpumpe zu überführen. Damit kann die thermische Energie der Wärmequelle 14 besonders gut ausgenutzt werden und zudem eine ansonsten erforderliche elektrische Energie für die Druckerhöhungsreinrichtung 26 eingespart werden. Insgesamt kann der Wirkungsgrad nochmals erhöht werden.

[0085] Zudem kann mittels der erfindungsgemäßen Lösung auch ein Trocknungsprozess zum Trocknen eines Stoffes energetisch optimiert werden. Dazu wird freierwerdende Energie des Schrittes 98 des Kondensierens des Arbeitsmediums energieübertragend mit dem Trocknungsprozess gekoppelt. Zusätzlich werden zum Trocknen des Stoffes als weitere Wärmequellen 14 und 17 die Motorabwärme und die Abgasabwärme eines Verbrennungsprozesses von Brennstoff, insbesondere von Biogas, genutzt.

Bezugszeichenliste

[0086]

10	Vorrichtung zum Umwandeln von thermischer Energie
12	Verfahren
14	Wärmequelle
16	thermodynamischer Kreisprozess
17	Wärmequelle
18	Sammelbehälter
20	niedrigerer Druck
22	Leitung
24	Kreislaufrihtung
26	Druckerhöhungseinrichtung
28	erhöhter Druck
30	Wärmeübertragungseinrichtung
32	erster Wärmeübertrager
34	zweiter Wärmeübertrager
36	Leitung
38	Leitung
40	Abscheider
42	unterer Raumbereich
44	oberer Raumbereich
46	Leitung
48	Leitung
50	Leitung
52	Leitung
54	Eintrittsventil
56	Expansionseinrichtung
58	Generator
60	Leitung bzw. Abdampfleitung
62	Kondensationseinrichtung
64	Ölversorgungskreislauf
66	Ölzuführleitung bzw. Zuführeinrichtung

68	Öleintrittsventil
70	Ölabscheider
71	Trennelement
72	Ölabfuhrleitung
5 74	Ölsammelbehälter
76	Ölheizter
78	Dampfleitung
80	Ölpumpe
82	Heizkreislaufleitung
10 83	Logarithmus Druck
84	Enthalpie
85	Phasengrenzlinie
86	Nassdampfgebiet
88	Schritt des Erhöehens von Druck
15 90	Schritt des Vorerwärmens
92	Schritt des Verdampfens
94	Schritt des Überhitzens
96	Schritt des Expandierens
98	Schritt des Kondensierens
20 100	Dampfkuve
102	Sattdampftemperaturwert
104	Einstelleinrichtung
106	definierter Abdampftemperaturwert
108	Dampfzuführung
25 110	Dampfzuführleitung
112	Eintrittsventil
114	Temperaturmesselement
116	Temperaturmesselement
118	Druckmesselement
30 120	Regeleinrichtung
122	Isotherme bei 20 °C
124	Isotherme bei 30 °C
126	Ringgehäuse
128	Einlass
35 130	Auslass
132	innere Ringwand
134	Drehkolben
136	Welle
138	Nut
40 140	Schieber
142	Zelle
144	Volumen
146	Drehwinkelzone
148	Drehwinkelzone
45 150	Drehwinkelzone
152	Drehwinkelzone
154	Ventil bzw. Abdampfregelventil
156	Sperrlement
158	erster niedrigerer Druck
50 160	erste Expansionsstufe
162	zweite Expansionsstufe

Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle (14, 17) in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen

Kreisprozesses (16) mit

- einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess (16) geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt ist, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattdampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie
- einer Expansionseinrichtung (56) zum Expandieren des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck (28) auf einen niedrigeren Druck (20), wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck (20) eine Abdampf-
temperatur aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Einstelleinrichtung (104) zum Einstellen der Abdampf-
temperatur auf einen definierten Abdampf-
temperaturwert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zu-
gehörigen Sattdampf-temperaturwerts (102) vorge-
sehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Ab-
dampf-temperaturwert (106) zwischen 2 K und 12 K,
bevorzugt zwischen 4 K und 8 K sowie besonders
bevorzugt zwischen 5 K und 6 K oberhalb des dem
niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattdampf-
temperaturwerts (102) liegt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstel-
leinrichtung (104) eine Temperatur des Arbeitsme-
diums derart zu erhöhen ist, dass die Abdampf-
temperatur den definierten Abdampf-temperaturwert
(106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zu-
gehörigen Sattdampf-temperaturwerts (102) auf-
weist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstel-
leinrichtung (104) die Temperatur des Arbeitsme-
diums innerhalb der Expansionseinrichtung (56) zu er-
höhen ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrich-
tung (104) eine Dampfzuführung (108) zum Zufüh-
ren von Dampf zum Arbeitsmedium umfasst, wobei
der Dampf insbesondere überhitzter Dampf ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf ein
Dampf des Arbeitsmediums ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstel-
leinrichtung (104) ein Gegendruck auf das Arbeits-
medium derart zu erzeugen ist, dass die Abdampf-

temperatur den definierten Abdampf-temperaturwert
(106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zu-
gehörigen Sattdampf-temperaturwerts (102) auf-
weist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrich-
tung (104) zum Erzeugen des Gegendrucks auf das
Arbeitsmedium ein Sperrelement (156) umfasst, das
insbesondere mit einem Ventil (154) zum wahlwei-
sen Öffnen und Verschließen einer das Arbeitsme-
dium führenden Leitung (60) gestaltet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsmedi-
um in einer Kreislauf-richtung (24) geführt ist und in
Kreislauf-richtung (24) nach der Expansionseinrich-
tung (56) eine Kondensationseinrichtung (62) zum
Kondensieren des expandierten Arbeitsmediums
vorgesehen ist, wobei die Einstelleinrichtung (104)
ein Temperaturmesselement (114, 116) zum Mes-
sen einer Temperatur des Arbeitsmediums in Kreis-
lauf-richtung (24) nach dem Expandieren und vor
dem Kondensieren und/oder ein Druckmesselement
(118) zum Messen des Druckes des Arbeitsmedi-
ums in Kreislauf-richtung (24) nach dem Expandieren
und vor dem Kondensieren umfasst.
10. Verfahren (12) zum Umwandeln von thermischer
Energie aus einer Wärmequelle (14, 17) in mecha-
nische Energie mittels eines thermodynamischen
Kreisprozesses (16) mit einem Arbeitsmedium, das
in dem Kreisprozess (16) geführt und dabei einem
wechselnden Druck ausgesetzt wird, wobei dem je-
weiligen Druck ein Sattdampf-temperaturwert des Ar-
beitsmediums zugehörig ist,
sowie einem Schritt (96) des Expandierens des Ar-
beitsmediums von einem erhöhten Druck (28) auf
einen niedrigeren Druck (20), wobei das Arbeitsme-
dium nach dem Expandieren auf den niedrigeren
Druck (20) eine Abdampf-temperatur aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Abdampf-
temperatur auf einen definierten Abdampf-temperatur-
wert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20)
zugehörigen Sattdampf-temperaturwerts (102) ein-
gestellt wird.

Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2) EPÜ.

1. Vorrichtung (10) zum Umwandeln von thermischer
Energie aus einer Wärmequelle (14, 17) in mecha-
nische Energie mittels eines thermodynamischen
Kreisprozesses (16) mit

- einem Arbeitsmedium, das in dem Kreispro-
zess (16) geführt und dabei einem wechselnden

Druck ausgesetzt ist, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattedampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie
 - einer Expansionseinrichtung (56) zum Expandieren des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck (28) auf einen niedrigeren Druck (20), wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck (20) eine Abdampftemperatur aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass eine Einstelleinrichtung (104) zum Einstellen der Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattedampftemperaturwerts (102) vorgesehen ist, wobei die Einstelleinrichtung (104) eine Dampfzuführung (108) zum Zuführen von überhitztem Dampf zum Arbeitsmedium umfasst.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der definierte Abdampftemperaturwert (106) zwischen 2 K und 12 K, bevorzugt zwischen 4 K und 8 K sowie besonders bevorzugt zwischen 5 K und 6 K oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattedampftemperaturwerts (102) liegt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstelleinrichtung (104) eine Temperatur des Arbeitsmediums derart zu erhöhen ist, dass die Abdampftemperatur den definierten Abdampftemperaturwert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattedampftemperaturwerts (102) aufweist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstelleinrichtung (104) die Temperatur des Arbeitsmediums innerhalb der Expansionseinrichtung (56) zu erhöhen ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass der Dampf ein Dampf des Arbeitsmediums ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Einstelleinrichtung (104) ein Gegendruck auf das Arbeitsmedium derart zu erzeugen ist, dass die Abdampftemperatur den definierten Abdampftemperaturwert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattedampftemperaturwerts (102) aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrichtung (104) zum Erzeugen des Gegendrucks auf das

Arbeitsmedium ein Sperrelement (156) umfasst, das insbesondere mit einem Ventil (154) zum wahlweisen Öffnen und Verschließen einer das Arbeitsmedium führenden Leitung (60) gestaltet ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsmedium in einer Kreislaufrichtung (24) geführt ist und in Kreislaufrichtung (24) nach der Expansionseinrichtung (56) eine Kondensationseinrichtung (62) zum Kondensieren des expandierten Arbeitsmediums vorgesehen ist, wobei die Einstelleinrichtung (104) ein Temperaturmesselement (114, 116) zum Messen einer Temperatur des Arbeitsmediums in Kreislaufrichtung (24) nach dem Expandieren und vor dem Kondensieren und/oder ein Druckmesselement (118) zum Messen des Druckes des Arbeitsmediums in Kreislaufrichtung (24) nach dem Expandieren und vor dem Kondensieren umfasst.
9. Verfahren (12) zum Umwandeln von thermischer Energie aus einer Wärmequelle (14, 17) in mechanische Energie mittels eines thermodynamischen Kreisprozesses (16) mit einem Arbeitsmedium, das in dem Kreisprozess (16) geführt und dabei einem wechselnden Druck ausgesetzt wird, wobei dem jeweiligen Druck ein Sattedampftemperaturwert des Arbeitsmediums zugehörig ist, sowie einem Schritt (96) des Expandierens des Arbeitsmediums von einem erhöhten Druck (28) auf einen niedrigeren Druck (20), wobei das Arbeitsmedium nach dem Expandieren auf den niedrigeren Druck (20) eine Abdampftemperatur aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Abdampftemperatur auf einen definierten Abdampftemperaturwert (106) oberhalb des dem niedrigeren Druck (20) zugehörigen Sattedampftemperaturwerts (102) eingestellt wird, wobei überhitzter Dampf zum Arbeitsmedium zugeführt wird.

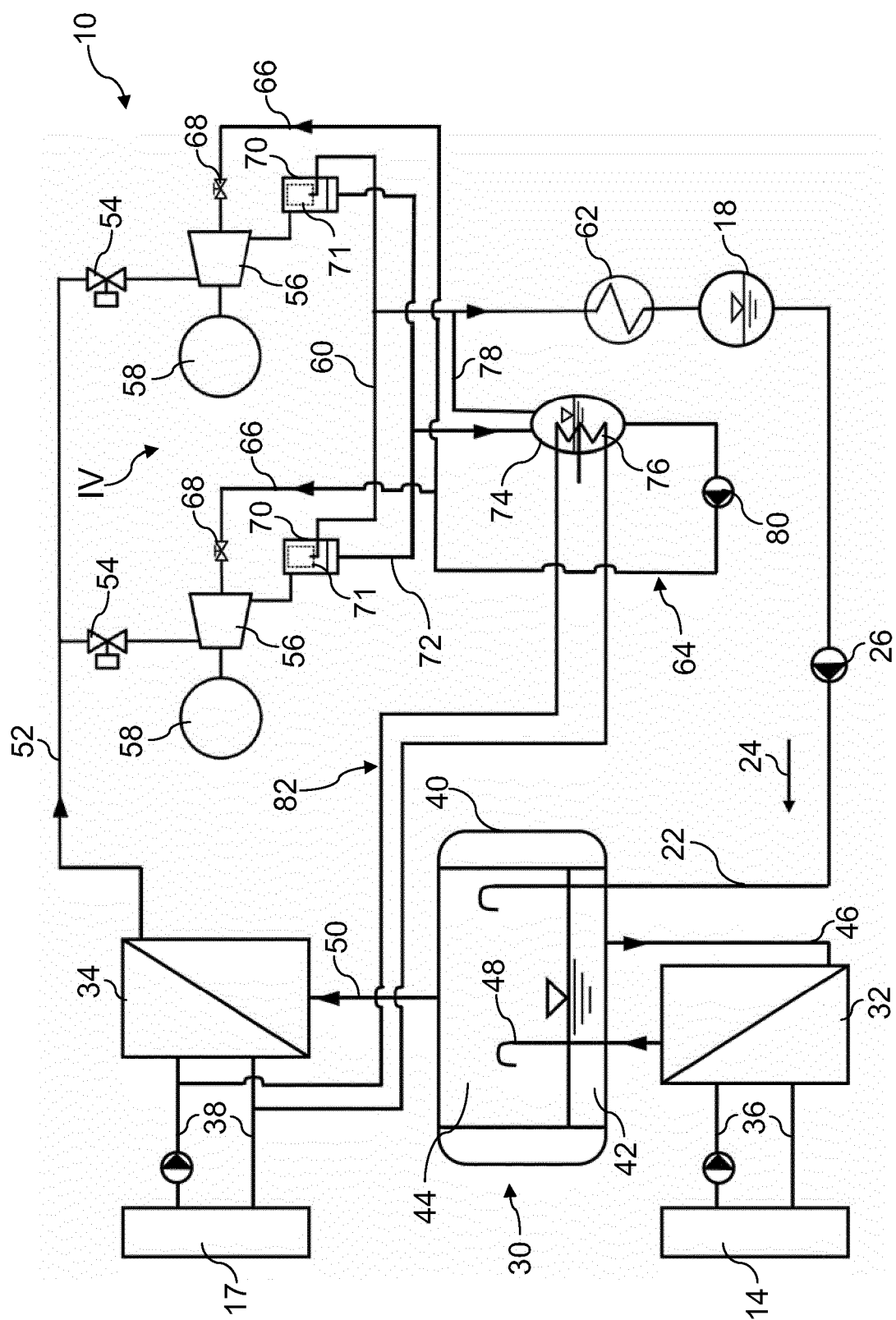


Fig. 1

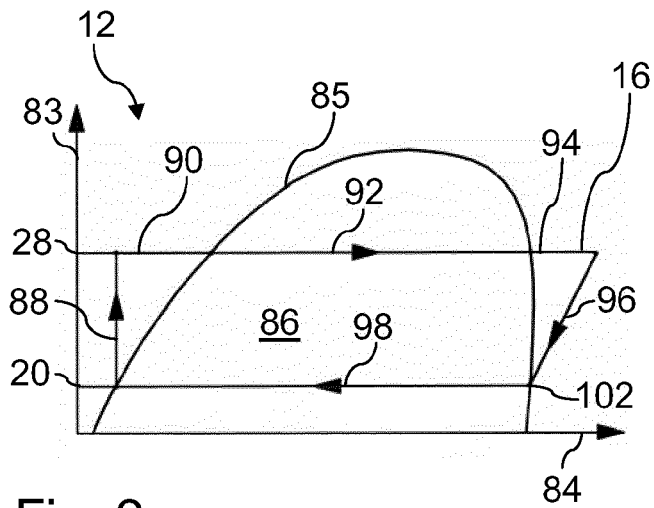


Fig. 2

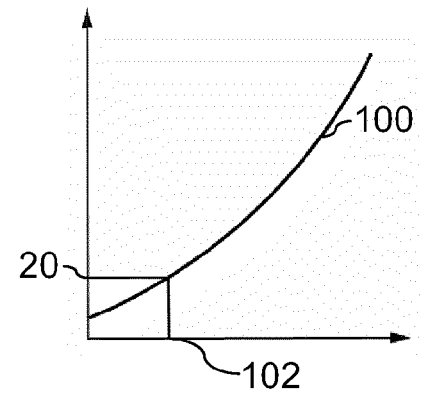


Fig. 3

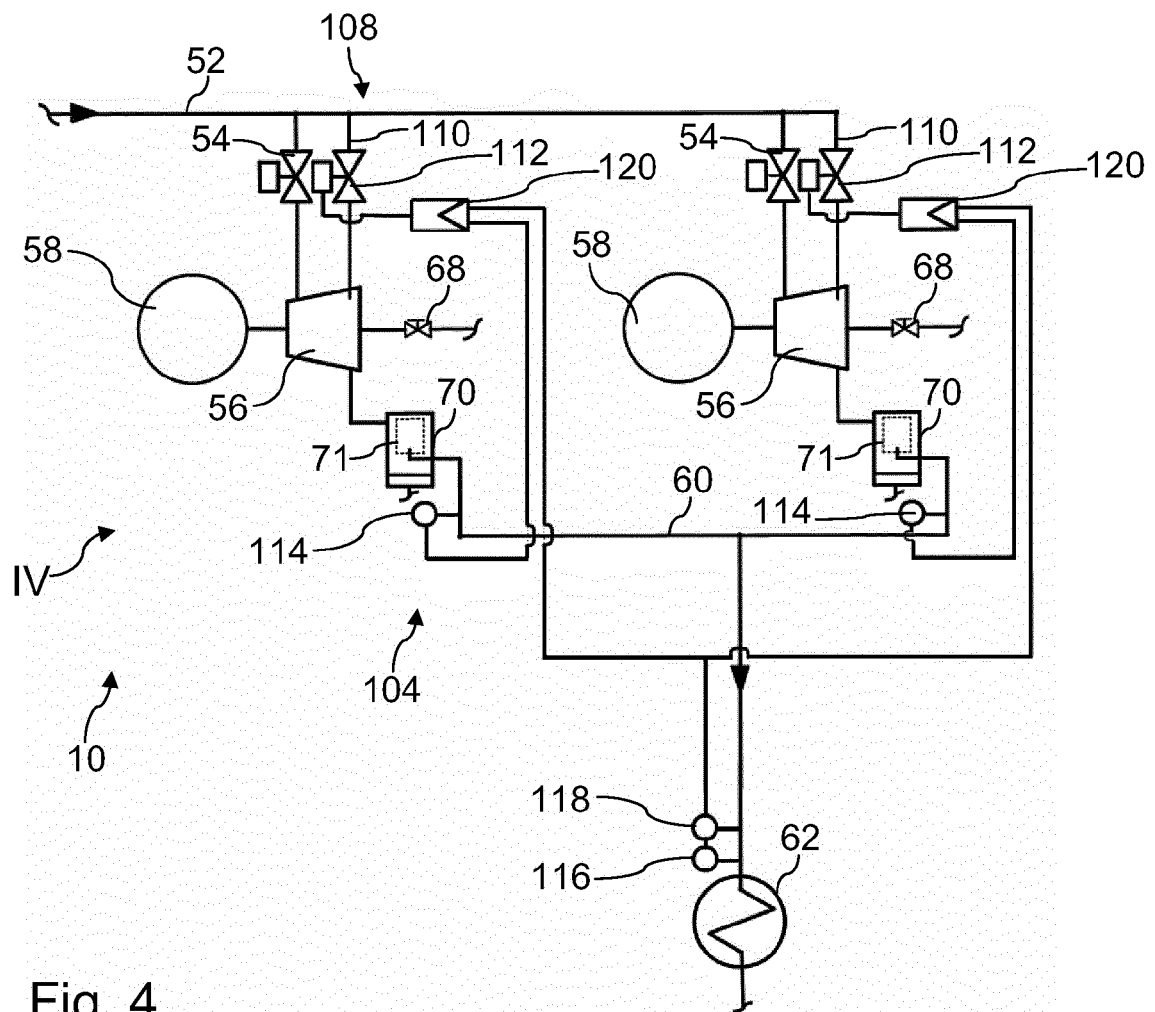


Fig. 4

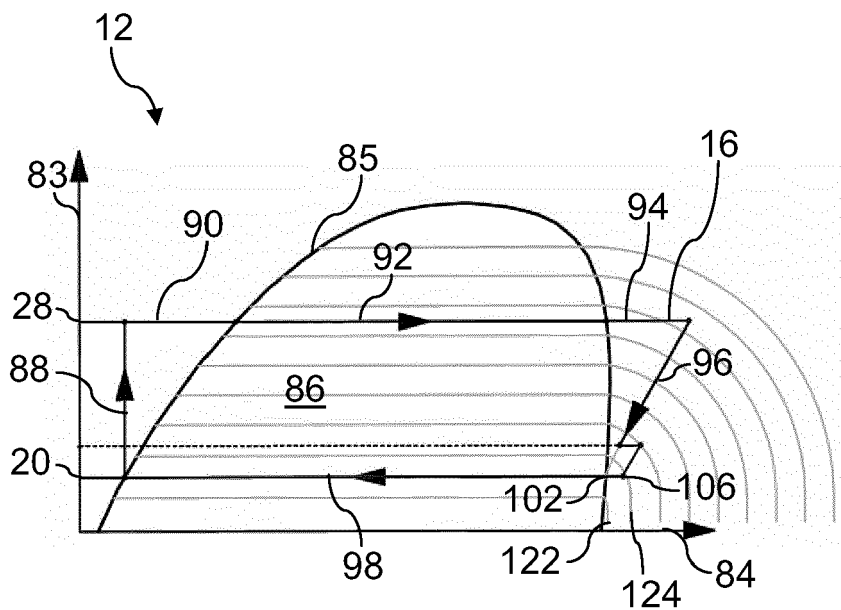


Fig. 5

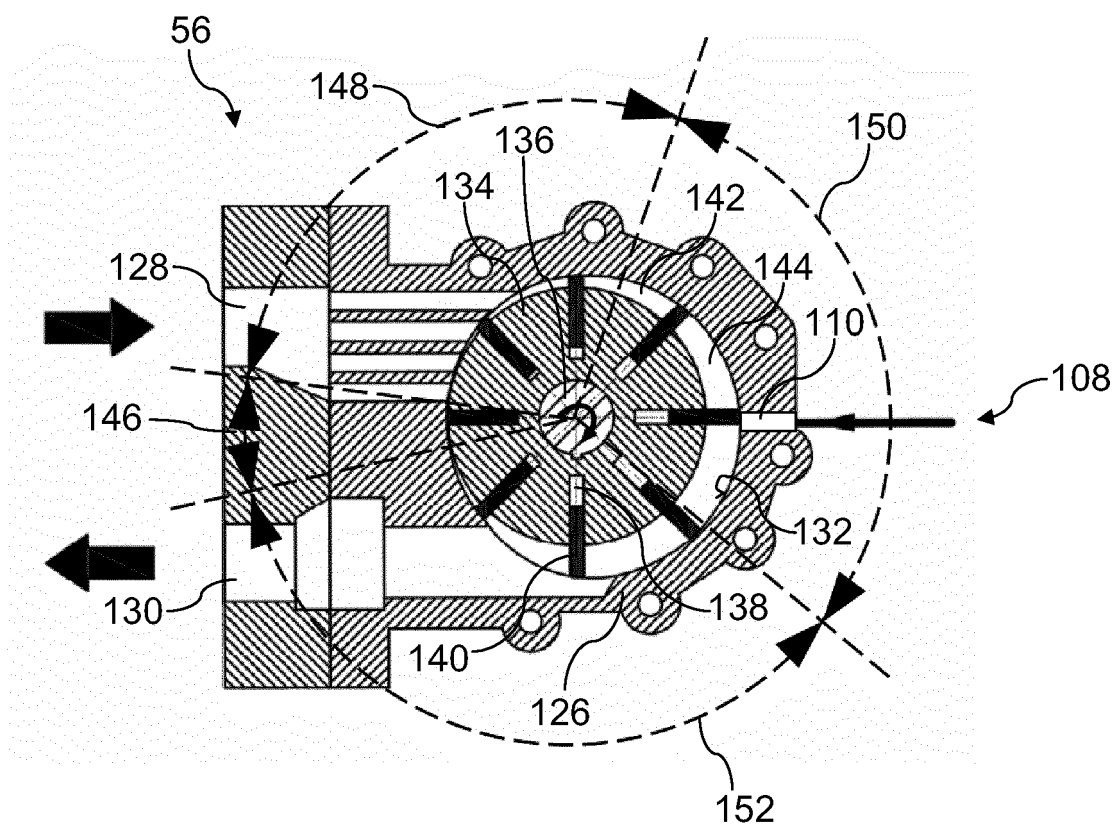


Fig. 6

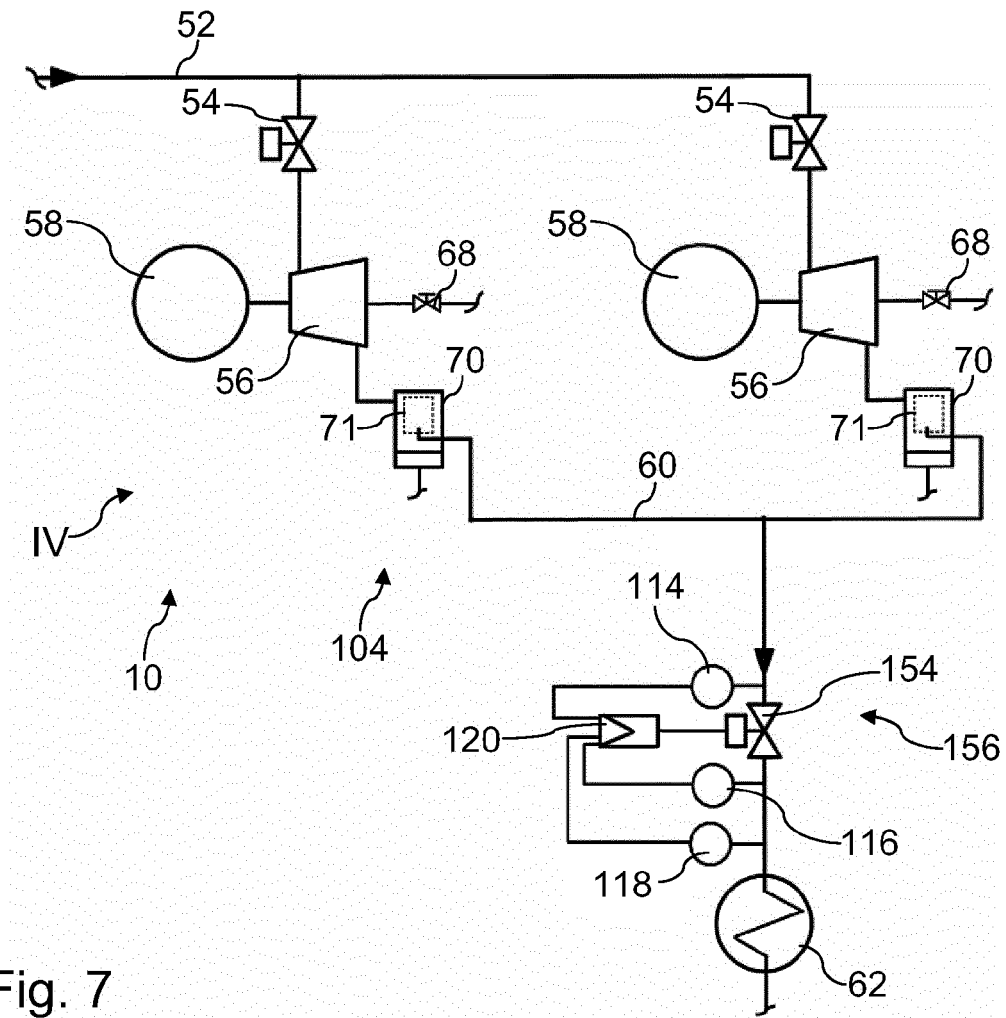


Fig. 7

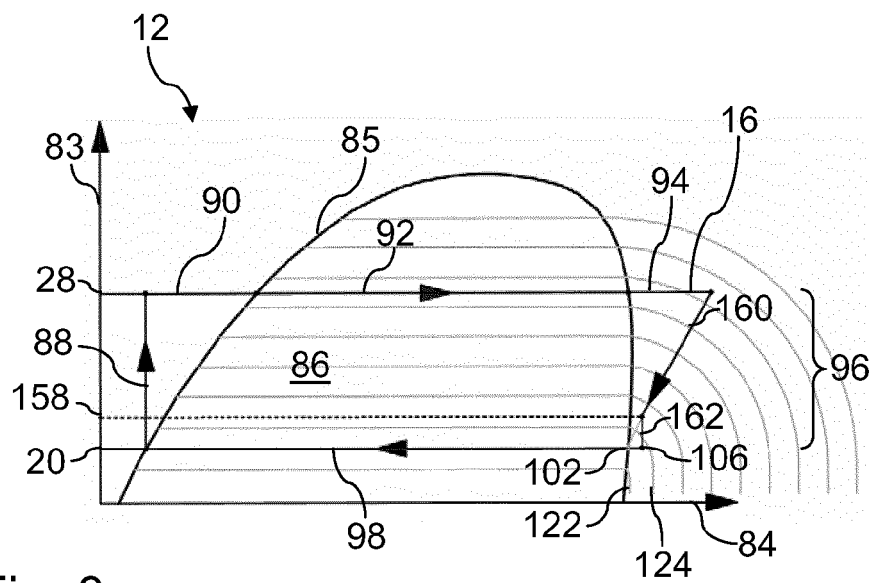


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 17 15 7833

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 930 319 A1 (PANASONIC IP MAN CO LTD [JP]) 14. Oktober 2015 (2015-10-14) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 * * Absätze [0001], [0040] - [0042], [0045], [0049] - [0061], [0065] - [0067] *	1-10	INV. F01K25/08
X	DE 10 2009 049338 A1 (CONPOWER EN GMBH & CO KG [DE]) 26. Mai 2011 (2011-05-26) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2 * * Absätze [0001], [0002], [0009], [0014], [0019] - [0027] *	1-10	
A	DE 10 2006 043409 A1 (SCHUHKNECHT MATTHIAS [DE]) 3. April 2008 (2008-04-03) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3, 4 * * Absätze [0035] - [0047] *	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. September 2017	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 : mündliche 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	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 17 15 7833

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

20-09-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 2930319	A1	14-10-2015	EP 2930319 A1	14-10-2015
				JP 6132214 B2	24-05-2017
				JP W02014087642 A1	05-01-2017
				US 2015267568 A1	24-09-2015
				WO 2014087642 A1	12-06-2014
20	DE 102009049338	A1	26-05-2011	DE 102009049338 A1	26-05-2011
				EP 2561276 A2	27-02-2013
				WO 2011045047 A2	21-04-2011
25	DE 102006043409	A1	03-04-2008	DE 102006043409 A1	03-04-2008
				WO 2008031613 A2	20-03-2008
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

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