

(19)



(11)

EP 2 759 679 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.07.2014 Patentblatt 2014/31

(51) Int Cl.:
F01K 3/00 (2006.01) **F25B 7/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **13152372.2**

(22) Anmeldetag: **23.01.2013**

(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

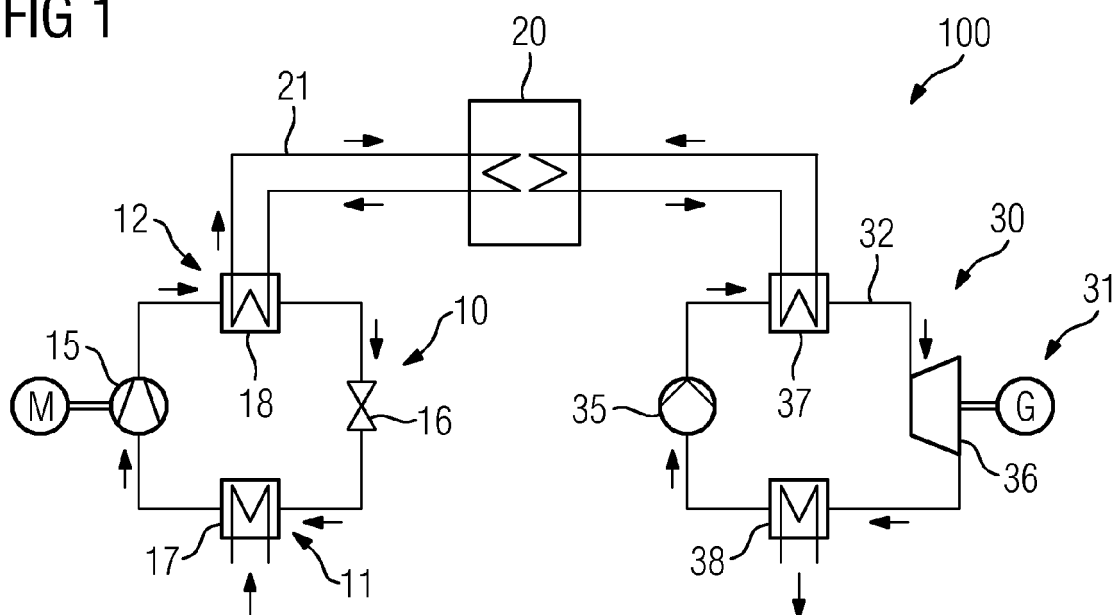
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Lenk, Uwe**
08064 Zwickau (DE)
• **Tremel, Alexander**
91052 Erlangen (DE)

(54) **Thermische Speichereinrichtung zur Nutzung von Niedertemperaturwärme**

(57) Die Erfindung betrifft Thermische Speichereinrichtung (100) umfassend eine erste Wärmepumpe (10), einen mit der ersten Wärmepumpe (10) wärmetechnisch verschalteten Wärmespeicher (20), sowie einen Kreislauf (30) zur Ausführung eines thermischen Kreisprozesses und zur Erzeugung von elektrischer Energie mittels einer darin verschalteten Stromerzeugungseinrichtung (31), die über ein in dem Kreislauf (30) geführtes Wärmeträgermedium (32) energetisiert werden kann, wobei der Kreislauf (30) ebenfalls wärmetechnisch mit dem Wärmespeicher (20) verschaltet ist, wobei die erste Wärmepumpe (10) dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, an einer ersten Eingangsseite (11) aufzunehmen und auf einer ersten Ausgangsseite (12) thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, abzugeben, wobei die thermische Energie auf der ersten Ausgangsseite (12) wenigstens teilweise auf ein Wärmespeichermedium (21) übertragen wird, welches die thermische Energie in dem Wärmespeicher (20) deponiert.

mepumpe (10) dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, an einer ersten Eingangsseite (11) aufzunehmen und auf einer ersten Ausgangsseite (12) thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, abzugeben, wobei die thermische Energie auf der ersten Ausgangsseite (12) wenigstens teilweise auf ein Wärmespeichermedium (21) übertragen wird, welches die thermische Energie in dem Wärmespeicher (20) deponiert.

FIG 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine thermische Speichereinrichtung umfassend eine erste Wärmepumpe, einen mit der ersten Wärmepumpe wärmetechnisch verschalteten Wärmespeicher, sowie einen Kreislauf zur Ausführung eines thermischen Kreisprozesses und zur Erzeugung von elektrischer Energie mittels einer darin verschalteten Stromerzeugungseinrichtung, die über ein in dem Kreislaufgeführtes Wärmeträgermedium energetisiert werden kann, wobei der Kreislauf ebenfalls wärmetechnisch mit dem Wärmespeicher verschaltet ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer thermischen Speichereinrichtung wie vorab und nachfolgend beschrieben.

[0002] Aufgrund der relativ starken Fluktuation von angebotener und nachgefragter elektrischer Energie in den öffentlichen Stromversorgungsnetzwerken wird vielfach die Speicherung von elektrischer Energie zur zeitverzögerten erneuten Abgabe als notwendig erachtet, um einen effizienten Netzbetrieb zu ermöglichen. Zur Zwischenspeicherung der elektrischen Energie werden verschiedene technische Lösungen verfolgt. Neben großtechnischen Lösungen mittels Pumpspeicherkraftwerken bzw. Druckluftspeicherkraftwerken wird auch die Speicherung von elektrischer Energie mittels elektrochemischer Prozesse zunehmend verfolgt. Die erstgenannten Kraftwerkstypen sind jedoch aufgrund ihrer Größe sowie geographischer Erfordernisse in ihrem Einsatz stark eingeschränkt. Zudem ist zur Errichtung solcher Kraftwerke ein verhältnismäßig großer Investitionsaufwand notwendig. Elektrochemische Prozesse werden ebenfalls aufgrund ihrer relativ hohen Kosten noch nicht großtechnisch eingesetzt.

[0003] Ergänzend oder alternativ zu diesen technischen Lösungen wird auch die Konversion von elektrischer Energie in chemische Energie etwa mittels Elektrolyse verfolgt. Jedoch sind auch für solche sog. Power-to-Gas-Anwendungen große Anlagen zu errichten, die einen erhöhten Investitionsaufwand verursachen. Zudem ist die Technologie noch nicht ausreichend erprobt und getestet, um einen flächendeckenden Einsatz im großtechnischen Maßstab sinnvollerscheinen zu lassen.

[0004] Weitere Ansätze für die Zwischenspeicherung von elektrischer Energie aus den öffentlichen Stromversorgungsnetzwerken beruhen auf der Zwischenspeicherung von thermischer Energie, welche aus der elektrischen Energie gewonnen wurde. Hierbei werden insbesondere nach dem der Anmelderin intern bekannten Stand der Technik Speicherlösungen verfolgt, welche thermische Energie auf einem verhältnismäßig hohen Temperaturniveau zwischenspeichern, um diese Energie nach Zwischenspeicherung erneut durch einen Rückverstromungsprozess abzurufen. Das Temperaturniveau, auf welchem die thermische Speicherung erfolgt, liegt hierbei typischerweise in einem Temperaturbereich von mehr als 300 °C. Für die Speicherung von thermi-

scher Energie auf einem solch hohen Temperaturniveau kommen bspw. Stein oder auch Sandschüttungen bzw. geeignete geologische Formationen als Speichermaterial in Frage, mit Hilfe derer ein thermischer Speicher ausgebildet werden kann. Die Ausspeicherung der darin gespeicherten Wärme kann nachfolgend in einen herkömmlichen Wasser-Dampf-Prozess erfolgen, wobei die Rückverstromung etwa mittels eines Dampfturbinenbetriebenen Generators erfolgt, der mit einem Wasser-Dampf-Kreislauf verschaltet ist. Um den Speicherwirkungsgrad zu optimieren, ist hierbei ein möglichst hohes Temperaturniveau von über 300°C, auf welchem die thermische Energiespeicherung erfolgt, erforderlich.

[0005] Derartig hohe Temperaturen verursachen jedoch nicht nur hohe Risiken hinsichtlich der Betriebssicherheit, sondern auch hohe Kosten für die Bereitstellung der bei diesen Temperaturen einsetzbaren technischen Materialien und Bauteile.

[0006] Um diese aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile zu vermeiden, soll vorliegend eine weitere technische Lösung zur thermischen Speicherung von elektrischer Energie vorgeschlagen werden. Insbesondere soll diese Lösung eine effiziente Zwischenspeicherung von thermischer Energie unter Nutzung von in einem Kraftwerksprozess anderweitig nicht weiter genutzter thermischer Energie, insbesondere Abwärme, erreicht werden. Bevorzugt soll auch eine in Verbindung mit einem Kraftwerksprozess stehende thermische Zwischenspeicherung von elektrischer Energie auf einem verhältnismäßig niedrigeren Temperaturniveau effizient ermöglicht werden. Die Speicherung soll hierbei insbesondere auf einem Temperaturniveau erfolgen, welches allgemein als Niedertemperaturniveau bezeichnet wird, und in einem Temperaturbereich zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120°C und 200°C, liegt (die Temperaturgrenzwerte sind hierbei mit eingeschlossen).

[0007] Im Vergleich zu diesen erfindungsgemäßen Speicherlösungen sollen die Speicherlösungen, welche die thermische Energie bei einem Temperaturniveau bei mehr als 300 °C zwischenspeichern, als Hochtemperaturwärmespeicher bezeichnet werden.

[0008] Diese der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird durch eine thermische Speichereinrichtung gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer solchen vorab wie auch nachfolgend beschriebenen Speichereinrichtung gemäß Anspruch 13 erreicht.

[0009] Insbesondere wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe durch eine thermische Speichereinrichtung erreicht, umfassend eine erste Wärmepumpe, einen mit der ersten Wärmepumpe wärmetechnisch verschalteten Wärmespeicher, sowie einen Kreislauf zur Ausführung eines thermischen Kreisprozesses und zur Erzeugung von elektrischer Energie mittels einer darin verschalteten Stromerzeugungseinrichtung, die über ein in den Kreislaufgeführtes Wärmeträgermedium energetisiert werden kann, wobei der Kreislauf ebenfalls wär-

metetechnisch mit dem Wärmespeicher verschaltet ist, und wobei die erste Wärmepumpe dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C, an einer ersten Eingangsseite aufzunehmen und auf einer ersten Ausgangsseite thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120°C und 200°C, abzugeben, wobei die thermische Energie auf der ersten Ausgangsseite wenigstens teilweise auf ein Wärmespeichermedium übertragen wird, welches die thermische Energie in dem Wärmespeicher deponiert.

[0010] Weiterhin werden die der Erfindung zugrunde liegenden Aufgaben durch ein Verfahren zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer solchen vorab wie auch nachfolgend beschriebenen thermischen Speichereinrichtung gelöst, welches folgende Schritte umfasst:

- Aufnehmen von thermischer Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C, durch die erste Wärmepumpe an einer ersten Eingangsseite;
- Abgeben von thermischer Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120°C und 200°C, auf einer ersten Ausgangsseite;
- Übertragen wenigstens eines Teils der thermischen Energie auf der Ausgangsseite auf ein Wärmespeichermedium;
- Deponieren der thermischen Energie des Wärmespeichermediums in dem Wärmespeicher.

[0011] Erfindungsgemäß erfolgt also die Speicherung von elektrischer Energie über einen thermischen Speicherprozess unter gleichzeitiger Einbindung von Niedertemperaturwärme auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C. Die Einbindung erfolgt mittels einer ersten Wärmepumpe, welche neben der elektrischen Energie auch in der Lage ist, Niedertemperaturwärme auf dem bezeichneten Energieniveau aufzunehmen, und an einer ersten Ausgangsseite auf einem entsprechend angehobenen Temperaturniveau, zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120°C und 200°C, abzugeben.

[0012] Durch die vorgeschlagene Lösung ist es insbesondere möglich, elektrische Energie in einem Leistungsbereich effizient zwischenzuspeichern welcher kraftwerkstechnisch relevant ist. Die erfindungsgemäße Lösung unterscheidet sich insbesondere durch einen kraftwerkstauglichen Einsatz einer Wärmepumpe, die auch auf einem verhältnismäßig hohen Temperaturniveau Wärme abgeben kann. Herkömmliche für diesen Einsatz taugliche Wärmepumpen sind typischerweise nur bis zu einem Temperaturbereich auf der Wärmeabgabeseite von maximal 60 bis 70 °C verfügbar.

[0013] Die erfindungsgemäße Lösung erlaubt zudem die Einbindung von Niedertemperaturabwärme auf ei-

nem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C, welche bei herkömmlichen Kraftwerksprozessen typischerweise verworfen wird. Derartige Niedertemperaturabwärme fällt in zahlreichen Kraftwerks- wie auch Industrieprozessen an, und kann entsprechend der vorliegenden Erfindung effizient in einen Speicherprozess eingebunden werden. Die Abwärmeverluste werden hierbei bei herkömmlichen Bestimmungen des Wirkungsgrades eines Kraftwerksprozesses nicht mit berücksichtigt.

[0014] Gemäß einer ersten besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die erste Wärmepumpe dazu ausgebildet, elektrische Energie in einem Leistungsbereich von mehr als 1 MW aufzunehmen und umzusetzen. Hierbei eignet sich die erste Wärmepumpe insbesondere für großtechnische Anwendungen, insbesondere für Kraftwerksprozesse, um auch Strommengen in thermische Energie umzusetzen, die für die Stromversorgung der öffentlichen Stromversorgungsnetzwerke relevant sind.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der thermischen Speichereinrichtung ist vorgesehen, dass das Verhältnis von der an der Ausgangsseite der ersten Wärmepumpe abgeführten thermischen Energie zu der elektrischen Energie, welche die erste Wärmepumpe zu ihrem Betrieb benötigt, zwischen 1,5 und 7, insbesondere zwischen 2 und 5 liegt. Das Verhältnis entspricht dem Coefficient of Performance (COP), welcher das Verhältnis von bereitgestellter Wärmemenge bei hohem Temperaturniveau zu eingesetzter elektrischer Energie wiedergibt. Demgemäß ist die erste Wärmepumpe dazu ausgebildet, elektrische Energie aufzunehmen, und eine deutlich größere Wärmemenge bei einem höheren Temperaturniveau bereitzustellen. Die zusätzlich erforderliche Differenzenergie entstammt hierbei der Wärme, welche der ersten Wärmepumpe an der ersten Eingangsseite als Niedertemperaturwärme zugeführt wird. Da diese typischerweise als Abwärme entnommen wird, kann sie sehr günstig bzw. sogar kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Durch den Wärmepumpenprozess ist eine geringere elektrische Energiemenge notwendig, um eine relativ größere thermische Wärmemenge bereitzustellen, um diese dann zwischenzuspeichern.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der thermischen Speichereinrichtung ist vorgesehen, dass der Wärmespeicher als sensibler Wärmespeicher und/oder als latenter Wärmespeicher ausgebildet ist. Sensibler Wärmespeicher können bspw. Wasser, Druckwasser, Thermoöl oder auch Feststoffe als Wärmespeichermedium aufweisen. Latentwärmespeicher können bspw. Metall- bzw. Salzschnmelzen sowie organische Stoffe als Wärmespeichermedien aufweisen. Der Phasenübergang, der für die Energiespeicherung genutzt wird, soll dabei im Temperaturbereich von 100°C bis 300°C, insbesondere im Temperaturbereich von 120°C bis 200°C erfolgen. Alternativ oder auch weiterführend kann der Wärmespeicher auch als Wärmesystem z.B. als Fernwärmesystem ausgebildet sein.

[0017] Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung kann der Kreislauf zur Ausführung des thermischen Kreisprozesses als Organic Rankine Cycle (ORC) betrieben werden oder auch als Kalina-Cycle. Beide Verfahren eignen sich besonders zur Rückverstromung der Wärme aus dem Wärmespeicher im Temperaturbereich von 100°C bis 300°C, insbesondere von 120°C bis 200°C.

[0018] Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung ist das Arbeitsfluid der ersten Wärmepumpe identisch mit dem Wärmeträgermedium in dem Kreislauf. Arbeitsfluide werden allgemein je nach der Steigung ihrer Sättigungskurve in einem T-S-Diagramm als nass (negative Steigung), isentrop (senkrechte Sättigungskurve) oder trocken (positive Steigung) klassifiziert. Nass- Arbeitsfluide (wie z.B. Wasser und CO₂) führen bei einer isentropen Expansion zu einer teilweisen Kondensation und benötigen daher im Allgemeinen eine Überhitzung. Nur leicht nasse, trockene und isentrope Fluide durchlaufen bei der Expansion im allgemeinen nicht ein Zwei-Phasengebiet und auf eine Überhitzung kann daher im allgemeinen verzichtet werden. Die Erfindung sieht die Verwendung eines leicht nassen, trockenen und isentropen Arbeitsfluid, insbesondere umfassend Fluor- ketone (z.B. CF₃CF₂C(0)CF(CF₃)₂), Kältemittel (chlorierte und/oder fluorierte Kohlenwasserstoffe (z.B. R245ca)), Kohlenwasserstoffe (z.B. Butan, Pentan) und sonstige organische Lösemittel (z.B. Toluol) vor.

[0019] Gemäß einer weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der ersten Wärmepumpe eine zweite Wärmepumpe wärmetechnisch vorgeschaltet ist, die dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 0 °C und 60 °C an einer zweiten Eingangsseite aufzunehmen und auf einer zweiten Ausgangsseite thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere 50°C bis 90°C, abzugeben. Ein solches ausführungsgemäßes zweistufiges Wärmepumpensystem ist insbesondere geeignet, etwa Umgebungswärme oder Wärme auf einem verhältnismäßig niedrigen Temperaturniveau zunächst einfach anzuheben, um der ersten Wärmepumpe Wärme zur Verfügung stellen zu können, die ein Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C, aufweist. Hierbei kann die zweite Wärmepumpe insbesondere als handelsübliche Wärmepumpe ausgebildet sein. Eine solche zweistufige Verschaltung eignet sich zudem auch insbesondere dann, wenn die erste Wärmepumpe an ihrer ersten Eingangsseite ein erforderliches Mindesttemperaturniveau benötigt, um ausreichend effizient zu arbeiten.

[0020] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Wärmeträgermedium und das Wärmespeichermedium im Wesentlichen identisch sind, insbesondere beide mit dem Wärmespeicher in thermische Wechselwirkung gelangen können. Hierbei werden insbesondere Transferverluste, die sich durch die zusätzliche Zwischenschal-

tung von weiteren Wärmetauschern ergeben, vermeiden. Zudem kann eine kompakte und sich durch wenige technische Komponenten auszeichnende thermische Speichereinrichtung realisiert werden. Weiterhin ist es möglich, durch eine solche Ausführungsform Funktionsbauteile der ersten Wärmepumpe mit Funktionsbauteilen des Kreisprozesses zu kombinieren, um folglich eine besonders einfache Bauform zu realisieren.

[0021] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die thermische Speichereinrichtung eine Verdichter-Expandereinheit aufweist, welche gleichzeitig sowohl von der ersten Wärmepumpe als auch von dem Kreislauf umfasst ist. Insbesondere umfasst die erste Wärmepumpe den Verdichterabschnitt und der Kreislauf den Expanderabschnitt. Beide können mit einer einzigen Motor/Generatoreinheit zusammenwirken, um entweder elektrische Energie aufzunehmen bzw. diese in einem Rückverstromungsprozess wieder bereitzustellen. In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Strömungsrichtung an der Verdichter-Expandereinheit bei Wärmeaufnahme durch die erste Wärmepumpe gegengleich zu der des Kreislaufs bei Betrieb zur Rückverstromung. Dadurch, dass die Verdichter-Expandereinheit gleichzeitig Funktionen der ersten Wärmepumpe wie auch Funktionen in dem Kreislauf zur Rückverstromung übernehmen kann, kann folglich eine besonders einfach ausgestaltete thermische Speichereinrichtung bereitgestellt werden.

[0022] Ausführungsgemäß kann eine solche Verdichter-Expandereinheit aus zwei getrennten Arbeitsmaschinen aufgebaut sein, die je nach Strömungsrichtung zu- bzw. abgeschaltet werden. Besonders vorteilhaft ist jedoch die Verwendung von nur einer Arbeitsmaschine. Dies kann z.B. durch Arbeitsmaschinen erreicht werden, die nach dem Verdrängungsprinzip (z.B. Schraubenkompressor, Schraubenexpander oder Kolbenverdichter, Kolbenexpander) arbeiten. Derartige Arbeitsmaschinen können im Prinzip in beiden Strömungsrichtungen betrieben werden. Insofern ist eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der thermischen Speichereinrichtung dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Speichereinrichtung eine Arbeitsmaschine aufweist, welche sowohl die Funktion eines Verdichters als auch die Funktion eines Expanders aufweist, und welche gleichzeitig sowohl von der ersten Wärmepumpe als auch von dem Kreislauf umfasst ist. Zusätzliche Pumpeneinheiten, welche die Einzelprozesse erfordern bzw. unterstützen, können entsprechend vorgesehen werden. Hierbei ist auch der Einsatz nur einer einzelnen Pumpeinheit möglich, die in beide Strömungsrichtungen arbeiten kann. Ebenso ist es möglich, nur eine Pumpeneinheit vorzusehen, welche in den Kreislauf verschaltet ist. Geeignete Schaltungen von Stellmitteln, wie Ventilen, können eine vorteilhafte Strömungsführung unterstützen bzw. diese sogar bewirken.

[0023] Die für diese Ausführungsformen der thermischen Speichereinrichtungen notwendigen Wärmespeicher sind bevorzugt als direkt durchströmte und damit

direkt belad- und entladbare Wärmespeicher ausgebildet. Auf einen Zwischenkreislauf kann vorteilhaft verzichtet werden.

[0024] Gemäß einer weiterführenden Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung ist vorgesehen, dass ein Wärmeübertrager sowohl mit der ersten Wärmepumpe fluidtechnisch verschaltet ist, als auch mit dem Kreislauf, wobei der Wärmeübertrager je nach Betriebszustand als Kältequelle oder als Wärmequelle dienen kann. Bei Wärmeaufnahme durch die erste Wärmepumpe dient der Wärmeübertrager als Wärmequelle, erlaubt also Wärme aufzunehmen und der ersten Wärmepumpe zuzuführen. Bei Betrieb des Kreislaufs zur Stromerzeugung dient der Wärmeübertrager insbesondere als Kältequelle in dem Kreislaufprozess. Eine solche reversible Betriebsmöglichkeit der Prozesse der ersten Wärmepumpe sowie des Kreislaufs ermöglichen eine starke Reduzierung der Anzahl der erforderlichen Funktionsbauteile und Komplexität ihrer Verschaltung.

[0025] Gemäß einer ebenfalls besonders bevorzugten Ausführungsform der thermischen Speichereinrichtung ist vorgesehen, dass die erste Wärmepumpe als chemische Wärmepumpe ausgeführt ist. Derartige chemische Wärmepumpen sind bspw. beschrieben in: Thermochemical Energy Storage and Conversion: A State of the Art Review of the Experimental Research under Practical Conditions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cot-Gores, J., Castell, A., Cabeza, L.F., 16, 5207-5224, 2012; sowie in: A Review of Chemical Heat Pump Technology and Applications, Applied Thermal Engineering, Wongsuwan, W., Kumar, S., Neveu, P., Meunier, F., 21 (2001), 1489-1519.

[0026] Derartige chemische Wärmepumpen nutzen insbesondere die Druck- bzw. die Temperaturabhängigkeit von Ad- und Absorptionsvorgängen.

[0027] Gemäß einer weiteren bzw. auch weiterführenden Erfindungsidee ist vorgesehen, dass der Wärmespeicher als thermo-chemischer Wärmespeicher ausgeführt ist. Ein derartiger Wärmespeicher kann bspw. eine Schüttung eines Feststoffes bzw. eine Flüssigkeit umfassen. Eine derartige Schüttung bzw. die Flüssigkeit kann wiederum ein Wärmespeichermedium aufnehmen, welches bspw. Wasserdampf oder Ammoniak sein kann. Die Aufnahmefähigkeit ist hierbei abhängig vom Druck und Temperaturniveau. Die Aufnahme und die darauf folgende Abgabe von Wärmespeichermedium können durch chemische Reaktionen, reversible Adsorptionsvorgänge und Absorptionsvorgänge erfolgen.

[0028] Bei der Aufnahme des Wärmespeichermediums wird Wärme freigesetzt, bei der Desorption wird im Gegenzug Wärme benötigt. Beim Laden des Wärmespeichers wird insofern typischerweise eine Wärmesenke bereitgestellt, welche bspw. der vorab beschriebene Wärmeübertrager sein kann. Demnach wird dort bspw. das Wärmespeichermedium kondensiert, wobei etwa der Partialdruck des Wärmespeichermediums im Kreislauf der chemischen Wärmepumpe absinkt.

[0029] Gleichzeitig kann der Wärmespeicher beim Laden mit Wärme, insbesondere mit Abwärme versorgt werden. Derartige Wärme kann dem Wärmespeicher bspw. über einen weiteren Wärmetauscher bzw. insbesondere durch den vorab beschriebenen Wärmeübertrager zugeführt werden.

[0030] Eine Herabsenkung des Partialdrucks im Wärmespeicher führt zu einer Desorption des Wärmespeichermediums, etwa an der Feststoffschüttung oder der Flüssigkeit, wobei der Wärmespeicher Wärmespeichermedium an den Kreislauf verliert. Ist das Wärmespeichermedium bspw. Wasser, wird der Wärmespeicher also dadurch zunehmend getrocknet. Da der Prozess der Desorption des Wärmespeichermediums mit einer Wärmeaufnahme verbunden ist, wird Wärme, insbesondere Abwärme zugeführt, um ein Absinken des Temperaturniveaus im Wärmespeicher zu vermeiden.

[0031] Der elektrische Energiebedarf beim Laden eines solchen thermo-chemischen Wärmespeichers ist sehr gering, da lediglich Rezirkulationsbauteile, bspw. Pumpen, betrieben werden müssen. Der elektrische Energiebedarf ist daher signifikant unter dem Energiebedarf etwa für eine herkömmliche Wärmepumpe. Eine vollständige Ladung des Wärmespeichers entspricht bspw. einer vollständigen Desorption des Wärmespeichermediums in dem Wärmespeicher.

[0032] Für die Entladung des Wärmespeichers zur Stromerzeugung wird dem Wärmespeicher ein erhöhter Partialdruck des Wärmespeichermediums zugeführt, wodurch eine chemische Reaktion, eine Adsorption bzw. Absorption dieses Wärmespeichermediums etwa an der Schüttung bzw. Flüssigkeit des Wärmespeichers erfolgt. Dies hat eine Erhöhung des Temperaturniveaus zur Folge, wobei diese Temperaturerhöhung geeignet in den Kreislauf für die Rückverstromung eingespeist werden kann. Die Entladung des Wärmespeichers kann auch unter Betrieb einer Rezirkulationseinheit, bspw. einer Pumpeinheit, erfolgen. Der Strombedarf durch diese Rezirkulationseinheit ist jedoch im Vergleich zur freiwerdenden thermischen Energie, die in elektrische Energie durch die Rückverstromung umgesetzt werden kann, gering.

[0033] Gemäß einer besonders bevorzugten ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass weiterhin ein Schritt des Übertragens von thermischer Energie nach dem Ausspeichern dieser aus dem Wärmespeicher auf das Wärmeträgermedium des Kreislaufs umfasst ist. Folglich kann die thermische Energie in dem Kreislauf zur Rückverstromung effizient genutzt werden.

[0034] Nachfolgend soll die Erfindung im Detail anhand der folgenden

[0035] Figuren erklärt werden. Hierbei sei darauf hingewiesen, dass die Figuren lediglich schematisch zu verstehen sind und keine Einschränkung hinsichtlich der Ausführbarkeit der Erfindung darstellen.

[0036] Ebenso sei darauf hingewiesen, dass Bauteile mit gleichen Bezugszeichen eine gleiche technische Wir-

kung aufweisen.

[0037] Fernerhin soll die Erfindung wie nachfolgend dargestellt, beansprucht werden sowie auch die Erfindung, die sich aus Kombination der nachfolgend dargestellten Einzelmerkmale ergibt, soweit diese Kombination unter den Erfindungsgedanken zu fassen ist.

[0038] Hierbei zeigen:

- Figur 1 eine schematische Schaltansicht einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung;
- Figur 2 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung in schematischer Schaltansicht;
- Figur 3 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung in schematischer Schaltansicht;
- Figur 4 eine diagrammatische Darstellung der thermodynamischen Zustandsänderungen des Arbeitsfluids bei Betrieb einer thermischen Speichereinrichtung, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, entsprechend einem T-S-Diagramm.
- Figur 5 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung in schematischer Schaltansicht;
- Figur 6 eine rechnerische Darstellung des Strom-zu-Strom Wirkungsgrades (Power-to-Power-Efficiency, PtP-E) in Abhängigkeit der von der ersten Wärmepumpe aufgenommenen thermischen Abwärme (Waste Heat Temperature, WHT);
- Figur 7 eine flussdiagrammatische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer vorab wie auch nachfolgend dargestellten thermischen Speichereinrichtung.

[0039] Figur 1 zeigt eine Schaltansicht einer ersten möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung 100, welche neben einer ersten Wärmepumpe 10, einem Wärmespeicher 20 auch einen Kreislauf 30 zur Ausführung eines thermischen Kreisprozesses aufweist, mittels dessen die Rückverstromung der in dem Wärmespeicher 20 gespeicherten thermischen Energie ermöglicht wird. Die erste Wärmepumpe 10 ist dazu ausgebildet, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, an einer ersten Eingangsseite 11 aufzunehmen und auf einer ersten Ausgangsseite 12 thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300

°C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, abzugeben. Die erste Eingangsseite 11 entspricht hierbei einem ersten Wärmetauscher 17 sowie die erste Ausgangsseite 12 einem weiteren Wärmetauscher 18.

[0040] Die thermische Energie auf der ersten Ausgangsseite 12 wird bei Betrieb der thermischen Speichereinrichtung 100 wenigstens teilweise auf ein Wärmespeichermedium 21 übertragen, welches die so aufgenommene thermische Energie dem Wärmespeicher 20 zuführt und darin zwischenzeitlich deponiert. Ausführungsgemäß befindet sich das Wärmespeichermedium 21 in einem geeigneten Fluidleitungssystem, welches wärmetechnisch mit der ersten Ausgangsseite 12 verschaltet ist, sowie auch gleichzeitig mit dem Wärmespeicher 20 wärmetechnisch wechselwirken kann. Hierbei sei darauf hingewiesen, dass das Wärmespeichermedium sowohl im Sinne eines sich in dem Wärmespeicher 20 befindlichen Mediums zur Wärmespeicherung ausgebildet sein kann, als auch als Medium, welches den Wärmeübertrag zwischen der ersten Ausgangsseite 12 der ersten Wärmepumpe 10 sowie dem Wärmespeicher 20 vermittelt. In einer anderen Ausführungsform kann auch auf das Wärmespeichermedium 21 und das dazugehörige Fluidleitungssystem verzichtet werden, wobei die Ausgangsseite 12 direkt mit dem Wärmespeicher 20 verschaltet ist, bzw. in diesen integriert ist. Gemäß dieser Konfiguration gibt das Arbeitsfluid der Wärmepumpe 10 die Wärme direkt an den bzw. in dem Wärmespeicher 20 ab.

[0041] Nach Zwischenspeicherung der thermischen Energie in dem Wärmespeicher 20 kann zu einem nachfolgenden Zeitpunkt diese thermische Energie wiederum entnommen werden, um sie dem Kreislauf 30 zuzuführen. Hierbei kann, wie vorliegend durch eine geeignete wärmetechnische Verschaltung erreicht, die thermische Energie auf das in dem Kreislauf 30 befindliche Wärmeträgermedium 32 mittels eines Wärmetauschers 37 übertragen werden. Der Kreislauf ist zur Ausführung eines thermischen Kreislaufprozesses ausgebildet und das Wärmeträgermedium 32 vermag die mit dem Kreislauf 30 verschaltete Stromerzeugungseinrichtung 31 zu energetisieren.

[0042] Die Stromerzeugungseinrichtung 31 ist vorliegend als Expander 36 ausgebildet, welcher mit einem Stromgenerator (G) mechanisch zusammenwirkt. Als Kältequelle dient in diesem thermischen Kreisprozess ein weiterer Wärmetauscher 38, der ebenso in den Kreislauf 30 verschaltet ist. Zur Fluidbeförderung bzw. zur unterstützten Fluidbeförderung sieht der Kreislauf 30 eine Pumpe 35 vor, die das darin befindliche Wärmeträgermedium 32 mit einer Strömung beaufschlagt.

[0043] Ausführungsgemäß vermag die thermische Speichereinrichtung 100 folglich Wärme an der ersten Eingangsseite 11 der ersten Wärmepumpe 10 aufzunehmen, und diese auf einem erhöhten Temperaturniveau über die erste Ausgangsseite 12 der ersten Wärmepumpe 10 wieder auszukoppeln. Hierbei wird der Wärmepumpe 10 sowohl thermische Wärme an der ersten Ein-

gangsseite 11 zur Verfügung gestellt, als auch elektrische Energie, welche vorliegend zum Betrieb eines Motors (M) vorgesehen ist, der einen Verdichter 15 antreibt. Der Verdichter 15 ist dazu ausgebildet, thermische Wärme auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, bereitzustellen.

[0044] Die erste Wärmepumpe 10 ist vorliegend weiterhin als geschlossener Kreislauf ausgebildet, in welchem ein nicht weiter mit Bezugszeichen versehenes Kreislaufmedium zirkuliert wird. Zur Druckänderung dieses Kreislaufmediums ist ein Stellmittel 16 als Druckänderungseinheit in die erste Wärmepumpe 10 verschaltet.

[0045] Ausführungsgemäß kann die Erfindung, wie oben bereits ausgeführt, auch den Einsatz eines leicht nassen, trockenen und/oder isentropen Arbeitsfluids (Wärmepumpenmedium), insbesondere Fluorketone (z.B. CF₃CF₂C(=O)CF(CF₃)₂), Kältemittel (chlorierte und/oder fluorierte Kohlenwasserstoffe (z.B. R245ca)), Kohlenwasserstoffe (z.B. Butan, Pentan) und sonstige organische Lösemittel (z.B. Toluol) vorsehen.

[0046] Ausführungsgemäß vermag also die erste Wärmepumpe 10 durch gleichzeitige Aufnahme von elektrischer Energie sowie thermischer Energie, die typischerweise in Form von Abwärmeenergie zur Verfügung gestellt wird, die durch sie abgegebene Gesamtwärme zu erhöhen und auf ein für eine Zwischenspeicherung in dem Wärmespeicher 20 geeignetes Temperaturniveau anzuheben.

[0047] Figur 2 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung 100 in schematischer Schaltansicht. Hierbei unterscheidet sich die in Figur 2 gezeigte Ausführungsform von der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform lediglich dahingehend, dass der ersten Wärmepumpe 10 eine zweite Wärmepumpe 40 wärmetechnisch vorgeschaltet ist, wobei die zweite Wärmepumpe 40 dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 0 °C und 60 °C an einer zweiten Eingangsseite 41 aufzunehmen und an einer zweiten Ausgangsseite 42 thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, abzugeben. Die zweite Eingangsseite der zweiten Wärmepumpe 40 ist vorliegend als Wärmetauscher 47 ausgebildet. Die zweite Ausgangsseite der zweiten Wärmepumpe 40 entspricht hierbei dem Wärmetauscher 17, der auch die erste Eingangsseite 11 der ersten Wärmepumpe 10 darstellt.

[0048] Erste Wärmepumpe 10 und zweite Wärmepumpe 40 sind folglich über einen Wärmetauscher 17 miteinander wärmetechnisch gekoppelt. Zur Erhöhung des Temperaturniveaus der in die zweite Wärmepumpe 40 eingekoppelten Wärme sieht die zweite Wärmepumpe 40 einen Verdichter 45 vor, der wiederum über einen Motor (M) elektrisch betrieben werden kann. Weiter kann die zweite Wärmepumpe 40 auch eine als Druckänderungseinheit arbeitendes Stellmittel 46 aufweisen, die dazu ausgebildet ist, das in der zweiten Wärmepumpe

40 zirkulierte Fluid mit einer Strömung zu beaufschlagen.

[0049] Figur 3 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung 100, wobei ausführungsgemäß die erste Wärmepumpe 10 mit dem Kreislauf 30 wärmetechnisch verschaltet ist. Weiterhin weisen die Wärmepumpe 10 und der Kreislauf 30 gemeinsame Bauteile auf, die zur prozesstechnischen Kopplung beider Prozesse geeignet sind.

[0050] Die erste Wärmepumpe 10 ist ausführungsgemäß als durch einen Motor (M) angetriebenen Verdichter 15 ausgebildet. Der Motor (M) kann bei anderer Betriebsart auch als Generator (G) betrieben werden. Insofern kann der Motor (M) auch als Stromerzeugungseinrichtung 31 genutzt werden. Der Verdichter 15 ist mechanisch mit einem Expander 36 über eine gemeinsame Welle, die möglicherweise auch eine Kupplung aufweisen kann, verbunden, so dass je nach Betriebsart der Motor (M) bzw. Generator (G) jeweils mit dem Verdichter 15 bzw. dem Expander 36 mechanisch wechselwirkt. Insofern weist die vorliegende Ausführungsform eine Verdichter-Expandereinheit 50 auf, die gleichzeitig sowohl von der ersten Wärmepumpe 10 als auch von dem Kreislauf 30 umfasst ist.

[0051] Bei Betrieb des Motors (M) zur Stromaufnahme und gleichzeitiger mechanischer Wechselwirkung mit dem Verdichter 15, kann über die erste Eingangsseite 11 aufgenommene thermische Energie auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Das Temperaturniveau ist geeignet zur thermischen Zwischenspeicherung in dem Wärmespeicher 20. Die durch den Betrieb des Verdichters 15 bereitgestellte thermische Energie wird auf das Wärmespeichermedium 21 übertragen, welches auch gleichzeitig das in der ersten Wärmepumpe 10 zirkulierte Wärmepumpenmedium ist. Nach erfolgter Abgabe der thermischen Energie in dem Wärmespeicher 20 wechselwirkt das Wärmespeichermedium 21 mit einem als Druckänderungseinheit arbeitenden Stellmittel 16 und strömt zurück zur ersten Eingangsseite 11 der Wärmepumpenschaltung.

[0052] Die erste Eingangsseite 11 ist als Wärmeübertrager 60 ausgebildet, der sowohl als Wärmequelle wie auch als Kältequelle je nach Betriebszustand eingesetzt werden kann.

[0053] Wird nun etwa der ersten Eingangsseite 11 keine thermische Energie mehr zugeführt, kann eine Entnahme von thermischer Energie aus dem Wärmespeicher 20 erfolgen. Hierbei ist es erforderlich, den Wärmeübertrager 60 soweit mit Kälte zu versorgen, dass dieser in dem Kreislauf 30 als Kältequelle genutzt werden kann. Dementsprechend kann nun thermische Energie aus dem Wärmespeicher 20 entnommen werden, die vorliegend über den Expander 36 geführt und zum Betrieb der Stromerzeugungseinrichtung 31 als Generator (G) genutzt wird. Nach erfolgter Entspannung über den Expander 36 kann das Wärmeträgermedium 32 dem Wärmeübertrager 60 zugeleitet werden. Um den Kreislauf 30 zu schließen bzw. das Wärmeträgermedium 32 zurück zum

Wärmespeicher 20 zu führen, ist der Wärmeübertrager 60 mit einer weiteren Leitung verschaltet, die diese Rückführung erlaubt, wobei diese Leitung mit einer Pumpe 35 zur Beaufschlagung des Wärmeträgermediums 32 mit einer Strömung versehen sein kann.

[0054] Ausführungsgemäß ist es auch möglich, dass die von der Ausführungsform umfassten Stellmittel 16 und Pumpe 35 durch eine einzige Einheit ersetzt sind, wobei diese in jeweils entgegen gesetzte Richtungen betrieben werden kann. Hierbei ist es auch sinnvoll bzw. erforderlich, dass die beiden gezeigten Leitungsführungen als eine einzige Leitungsführung ausgebildet sind.

[0055] Ebenfalls ist es ausführungsgemäß denkbar, dass die Verdichter-Expandereinheit 50 lediglich eine Arbeitsmaschine aufweist, welche sowohl die Funktion des Verdichters 15 als auch die des Expanders 36 erfüllen kann. Hierbei kann es wiederum erforderlich sein, dass die Arbeitsmaschine bei gegengleichen Strömungen entsprechend genutzt werden kann. Hierbei ist es auch wieder sinnvoll bzw. erforderlich, dass die beiden gezeigten Leitungsführungen als eine einzige Leitungsführung ausgebildet sind.

[0056] Figur 4 zeigt schematisch die thermodynamischen Zustandsänderungen des Arbeitsfluids bei Betrieb einer thermischen Speichereinrichtung 100, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, in einem T-S-Diagramm. Die einzelnen bezeichneten Zustände in dem gezeigten Diagramm korrespondieren hierbei zu den in Figur 3 gezeigten Bezugszeichen 81, 82, 83, 84 und 91, 92, 93, und 94, welche Orte angeben, an welchen das Arbeitsfluid einen spezifischen Zustand aufweist. Hierbei ist die Phasengrenzlinie für ein nahezu isentropes Arbeitsfluid (rechter Ast der Phasengrenzlinie) als dicke Linie gezeigt. Diese Phasengrenzlinie schließt nach unten hin den Bereich einer Zweiphasenmischung ein. Weiter ist als verdickte Linie auf dem isothermen Temperaturniveau 86 ein idealisierter Phasenübergang dargestellt, wie er etwa in einem Latentwärmespeicher erfolgen kann, wobei z.B. das Aufschmelzen und Erstarren des Speichermaterials auf einem Temperaturniveau erfolgt. Da bei realen Verhältnissen sich die Erstarrungstemperatur leicht von der Schmelztemperatur unterscheidet, ist der Phasenübergang als verdickte Linie dargestellt, um diese leichte Temperaturdifferenz besser zu veranschaulichen.

[0057] Der Betriebsprozess ist vorliegend für eine unterkritische Betriebsweise dargestellt, d.h. die maximale Arbeitsfluidtemperatur befindet sich immer unter dessen kritischer Temperatur.

[0058] Die Einspeicherung von Wärme in Wärmespeicher 20 erfolgt auf dem isothermen Temperaturniveau 86 im Bereich zwischen 100°C und 300°C, insbesondere zwischen 120°C und 200°C. Besonders vorteilhaft ist hierbei eine isotherme Speicherung, wie sie durch Latentwärmespeicher oder thermo-chemische Wärmespeicher möglich ist, d.h. es wird ein Phasenübergang oder eine physikalische bzw. chemische Reaktion zur Speicherung der Wärme genutzt. Im Wärmepumpenkreislauf

liegt wenigstens größtenteils kondensiertes Arbeitsfluid an Punkt 91 vor dem Wärmeübertrager 60 vor. Das Temperaturniveau der Wärmeaufnahme 87 liegt zwischen 40°C und 120°C, insbesondere zwischen 50°C und 90°C. Nach der Wärmeaufnahme liegt das Arbeitsfluid im T-S-Diagramm an Punkt 92 vor, es hat also eine Verdampfung bzw. Überhitzung stattgefunden. Nach dem Verdichter 15 liegt das Arbeitsfluid bei einer höheren Temperatur an Punkt 93 vor. Die Wärmeabgabe an den Wärmespeicher 20 erfolgt bis der Punkt 94 erreicht ist. Dann erfolgt eine weitere Wärmeabgabe bzw. Druckänderung bis der Ausgangszustand 91 wieder erreicht ist.

[0059] Der thermische Kreislauf zur Rückverstromung ist ebenfalls in Fig. 4 gezeigt. Hierbei wird Arbeitsfluid in der Flüssigphase von Punkt 81 nach Punkt 82 komprimiert. Dann erfolgt eine Wärmeaufnahme aus dem Wärmespeicher 20 bis der Punkt 83 erreicht ist. Durch die Expansion in dem Expander 36 wird Arbeit verrichtet und über die Stromerzeugungseinrichtung 31 nach außen abgegeben. Nach der Expansion liegt das Arbeitsfluid an Punkt 84 vor und erreicht durch den Wärmeentzug mit Kondensation wieder den Ausgangszustand 81.

[0060] Figur 5 zeigt eine weitere besonders bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen thermischen Speichereinrichtung 100, wobei die Wärmepumpe 10 sowie der Wärmespeicher 20 in einem geschlossenen Kreislauf miteinander verschaltet sind. Die Wärmepumpe 10 ist als chemische Wärmepumpe ausgeführt, wobei der Wärmespeicher 20 als thermo-chemischer Wärmespeicher ausgeführt ist. Das System aus erster Wärmepumpe 10 und Wärmespeicher 20 erlaubt durch geeignete Adsorption- und Desorptionsvorgänge, bzw. chemische und physikalische Reaktionen in dem Wärmespeicher 20 die Bereitstellung von thermischer Energie, die wiederum dem Kreislauf 30 zur Verfügung gestellt werden kann.

[0061] Um den Wärmespeicher 20 mit thermischer Energie aufzuladen, ist an der ersten Eingangsseite 11 der ersten Wärmepumpe 10 ein Wärmetauscher 17 vorgesehen. Über diesen kann geeignet Wärme zu- bzw. abgeführt werden. Weiter umfasst die erste Wärmepumpe 10 eine Strömungsmaschine 19 (Verdichter), welche das in diesem Kreislauf geführte Wärmespeichermedium 21 zwischen Wärmespeicher 20 und erster Eingangsseite 11 bewegt, also mit einer Strömung beaufschlagt. Je nach Strömungszustand bzw. nach eingekoppelter thermischer Wärme kann in dem Wärmespeicher durch Absorption bzw. Adsorption und entsprechenden Desorptionsprozessen, bzw. durch chemische und physikalische Reaktionen thermische Energie aufgenommen werden (typischerweise durch eine Desorption) bzw. thermische Energie abgegeben werden (typischerweise durch eine Absorption bzw. Adsorption). Die bei Betrieb der ersten Wärmepumpe 10 frei werdende Wärme kann in dem Wärmespeicher auch zeitweise zwischengespeichert werden.

[0062] Figur 6 zeigt eine idealisierte Berechnung des Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad (PtP-E) in Abhängigkeit

des Temperaturniveaus der der ersten Wärmepumpe 10 zur Verfügung gestellten Wärme, die vorliegend als Abwärme bereitgestellt wird. Dieses Temperaturniveau (WHT) betrifft typische in einem Kraftwerksprozess anfallende Temperaturniveaus von Abwärme.

[0063] Die Berechnungen hierzu gehen von vereinfachten Annahmen aus, welche jedoch einen Vergleich unterschiedlicher Wärmespeicherverfahren sowie der damit in Verbindung stehenden thermischen Speichereinrichtungen sinnvoll ermöglichen.

[0064] Die mit C bezeichnete Kurve geht von verhältnismäßig konservativen Annahmen zu den Wirkungsgraden einzelner Komponenten der thermischen Speichereinrichtung 100 aus. Hierbei wird angenommen, dass der Kreislauf 30 als ORC (Organic Rankine Cycle) betrieben wird. Der Gütegrad der Wärmepumpe (d.h. das Verhältnis von Wirkungsgrad zu Carnot-Wirkungsgrad) sowie des Kreislaufs 30 wurden zu 50 % angenommen. Die Wärmespeichertemperatur in dem Wärmespeicher 20 wurde zu 140 °C angenommen, Wärmeverluste betragen 10 %, die Grädigkeit im Wärmespeicher ist 25 K, die Kondensationstemperatur des ORC 35 °C. Trotz dieser verhältnismäßig konservativen Annahmen, ist der Wirkungsgrad bei einem Temperaturniveau von mehr als 90 °C bereits etwa 40 %.

[0065] Weiter optimierte Wirkungsgrade einzelner Komponenten wurden für den Fall B angesetzt, zu welchen angenommen wurde, dass der Gütegrad der Wärmepumpe sowie des ORC 60 % beträgt, die Wärmespeichertemperatur 130 °C, Wärmeverluste 5 %, Grädigkeit im Wärmespeicher 15 K, die Kondensationstemperatur des ORC 30 °C. Unter derartigen Annahmen sind bereits Wirkungsgrade der thermischen Speichereinrichtung 100 von mehr als 50 % bei Abwärmemengen auf einem Temperaturniveau von mehr als 70 °C erreichbar.

[0066] Weitergehende technische Verbesserungen, wie sie etwa durch eine stark reduzierte Stromaufnahme möglich sind, sind in der Kurve gemäß Fall A dargestellt. Hierbei wurde angenommen, dass die Wärmepumpe einen deutlich höheren Strom-zu-Wärme-Wirkungsgrad aufweist. Einen solchen kann bspw. durch eine chemische Wärmepumpe, wie weiter oben beschrieben, als erste Wärmepumpe 10 erreicht werden. Die erforderliche Stromaufnahme wurde vorliegend lediglich abgeschätzt. Wesentlich ist jedoch, dass die chemische Wärmepumpe in erster Linie thermische Energie aufnimmt, ohne elektrische Energie etwa durch Verbrauch durch einen Verdichter zu erfordern. Die Abschätzung ergibt, dass bereits bei Temperaturniveaus von 50 °C und darüber ein Strom-zu-Strom-Wirkungsgrad von über 70 % erreichbar ist.

[0067] Figur 7 zeigt eine flussdiagrammatische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer vorab beschriebenen thermischen Speichereinrichtung, welches folgende Schritte umfasst:

- Aufnehmen von thermischer Energie auf einem

Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, durch die erste Wärmepumpe an einer ersten Eingangsseite (Verfahrensschritt 201);

- 5 - Abgeben von thermischer Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, auf einer ersten Ausgangsseite (Verfahrensschritt 202);
- 10 - Übertragen wenigstens eines Teils der thermischen Energie auf der Ausgangsseite auf ein Wärmespeichermedium (Verfahrensschritt 203);
- Deponieren der thermischen Energie des Wärmespeichermediums in dem Wärmespeicher (Verfahrensschritt 204).

[0068] Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Patentansprüche

1. Thermische Speichereinrichtung (100) umfassend eine erste Wärmepumpe (10), einen mit der ersten Wärmepumpe (10) wärmetechnisch verschalteten Wärmespeicher (20), sowie einen Kreislauf (30) zur Ausführung eines thermischen Kreisprozesses und zur Erzeugung von elektrischer Energie mittels einer darin verschalteten Stromerzeugungseinrichtung (31), die über ein in dem Kreislauf (30) geführtes Wärmeträgermedium (32) energetisiert werden kann, wobei der Kreislauf (30) ebenfalls wärmetechnisch mit dem Wärmespeicher (20) verschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Wärmepumpe (10) dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, an einer ersten Eingangsseite (11) aufzunehmen und auf einer ersten Ausgangsseite (12) thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, abzugeben, wobei die thermische Energie auf der ersten Ausgangsseite (12) wenigstens teilweise auf ein Wärmespeichermedium (21) übertragen wird, welches die thermische Energie in dem Wärmespeicher (20) deponiert.
2. Thermische Speichereinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Wärmepumpe (10) dazu ausgebildet ist, elektrische Energie bei einer Leistung von wenigstens 1 MW aufzunehmen.
3. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis von an der Ausgangsseite (12) der ersten Wärmepumpe (10) abgeführter thermischer Energie zu der elektri-

schen Energie, welche die erste Wärmepumpe (10) zu ihrem Betrieb benötigt, zwischen 1, 5 und 7, insbesondere zwischen 2 und 5 liegt.

4. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmespeicher (20) als sensibler Wärmespeicher, und/oder als Latentwärmespeicher ausgebildet ist. 5
5. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsfluid der ersten Wärmepumpe (10) identisch ist mit dem Wärmeträgermedium (32) in dem Kreislauf (30). 10 15
6. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der ersten Wärmepumpe (10) eine zweite Wärmepumpe (40) wärmetechnisch vorgeschaltet ist, die dazu ausgebildet ist, thermische Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 0 °C und 60 °C an einer zweiten Eingangsseite (41) aufzunehmen und auf einer zweiten Ausgangsseite (42) thermische Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere 50 °C bis 90 °C, abzugeben. 20 25
7. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das Wärmeträgermedium (32) und das Wärmespeichermedium (21) im Wesentlichen identisch sind, insbesondere beide mit dem Wärmespeicher (20) in thermische Wechselwirkung gelangen können. 30 35
8. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Speichereinrichtung (100) eine Verdichter-Expander-Einheit (50) aufweist, welche gleichzeitig sowohl von der ersten Wärmepumpe (10) als auch von dem Kreislauf (30) umfasst ist. 40
9. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Speichereinrichtung (100) eine Arbeitsmaschine (70) aufweist, welche sowohl die Funktion eines Verdichters als auch die Funktion eines Expanders aufweist, und welche gleichzeitig sowohl von der ersten Wärmepumpe (10) als auch von dem Kreislauf (30) umfasst ist. 45 50
10. Thermische Speichereinrichtung gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Wärmeübertrager (60) sowohl mit der ersten Wärmepumpe (10) fluidtechnisch verschaltet ist, als auch mit dem Kreis-

lauf (30), wobei der Wärmeübertrager (60) je nach Betriebszustand als Kältequelle oder als Wärmequelle dienen kann.

11. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die erste Wärmepumpe (10) als chemische Wärmepumpe ausgeführt ist. 5
12. Thermische Speichereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmespeicher (20) als thermo-chemischer Wärmespeicher ausgeführt ist. 10 15
13. Verfahren zur Speicherung von thermischer Energie mittels einer thermischen Speichereinrichtung (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, welches folgende Schritte umfasst: 20 25
 - Aufnehmen von thermischer Energie auf einem Temperaturniveau zwischen 40 °C und 120 °C, insbesondere zwischen 50 °C und 90 °C, durch die erste Wärmepumpe (10) an einer ersten Eingangsseite (11);
 - Abgeben von thermischer Energie auf einem angehobenen Temperaturniveau zwischen 100 °C und 300 °C, insbesondere zwischen 120 °C und 200 °C, auf einer ersten Ausgangsseite (12);
 - Übertragen wenigstens eines Teils der thermischen Energie auf der Ausgangsseite (12) auf ein Wärmespeichermedium (21) ;
 - Deponieren der thermischen Energie des Wärmespeichermediums (21) in dem Wärmespeicher (20).
14. Verfahren gemäß Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin ein Schritt des Übertragens von thermischer Energie nach dem Ausspeichern dieser aus dem Wärmespeicher (20) auf das Wärmeträgermedium (32) des Kreislaufs (30) umfasst ist. 40 45 50 55

FIG 1

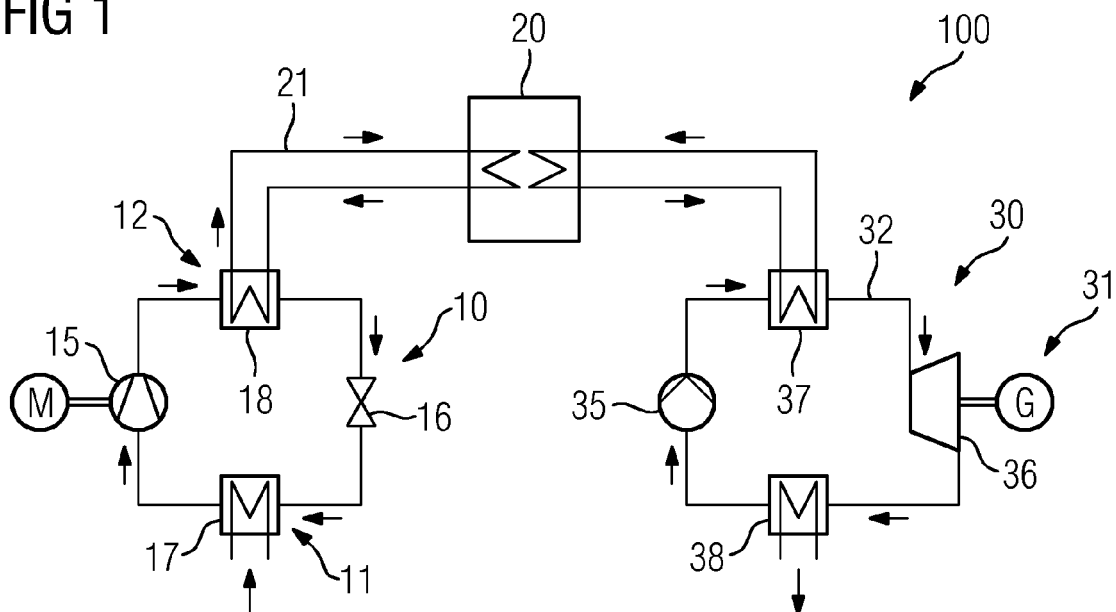


FIG 2

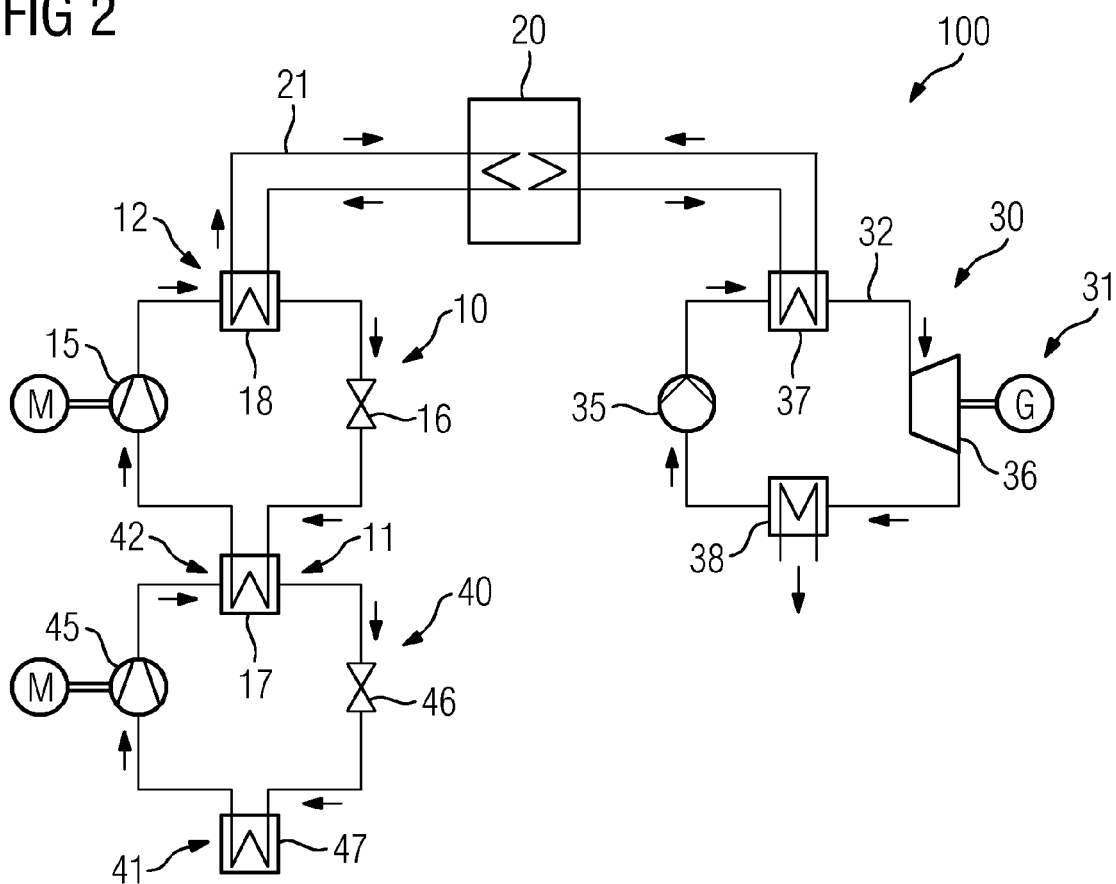


FIG 3

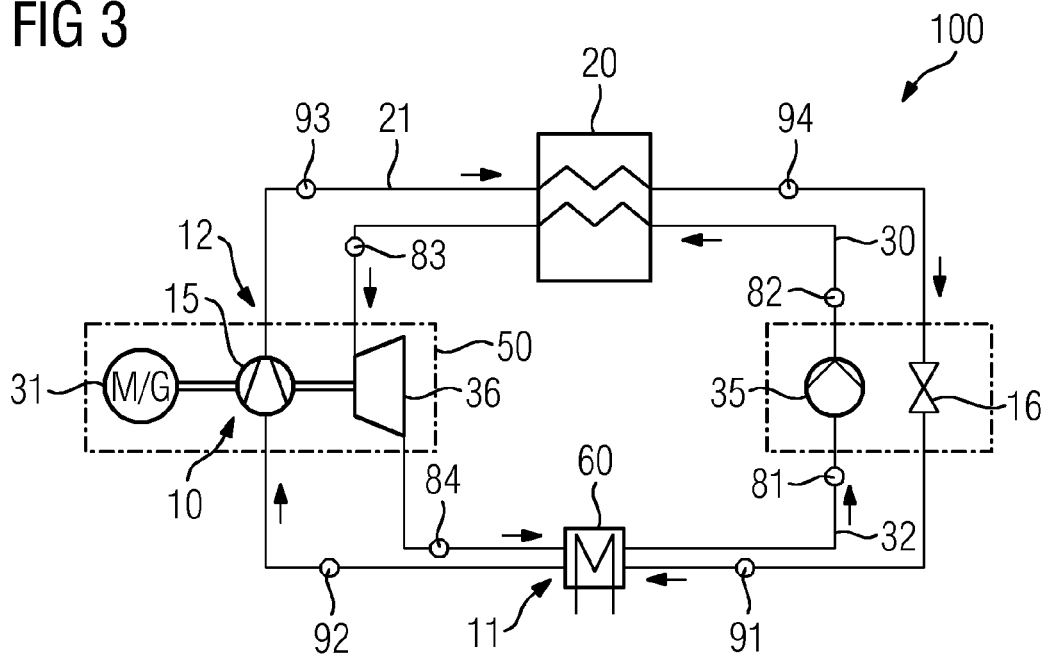


FIG 4

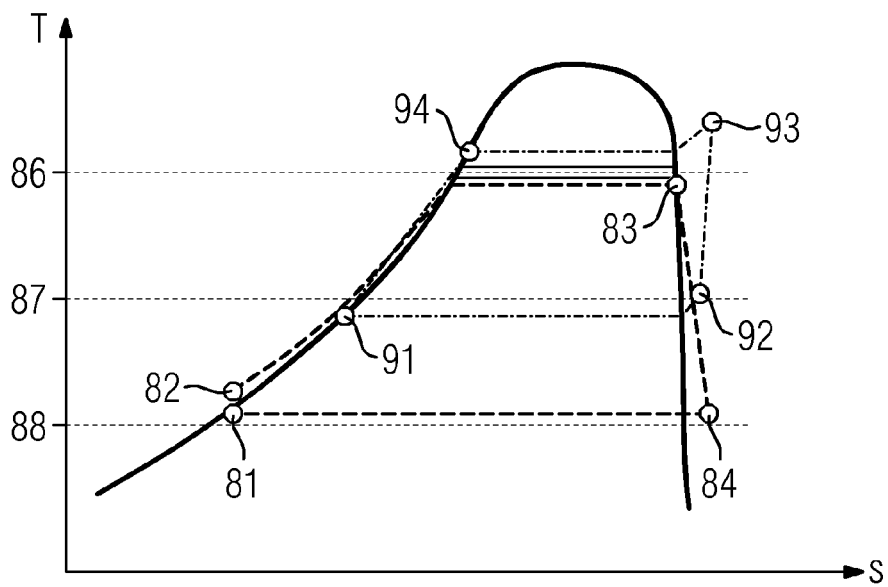


FIG 5

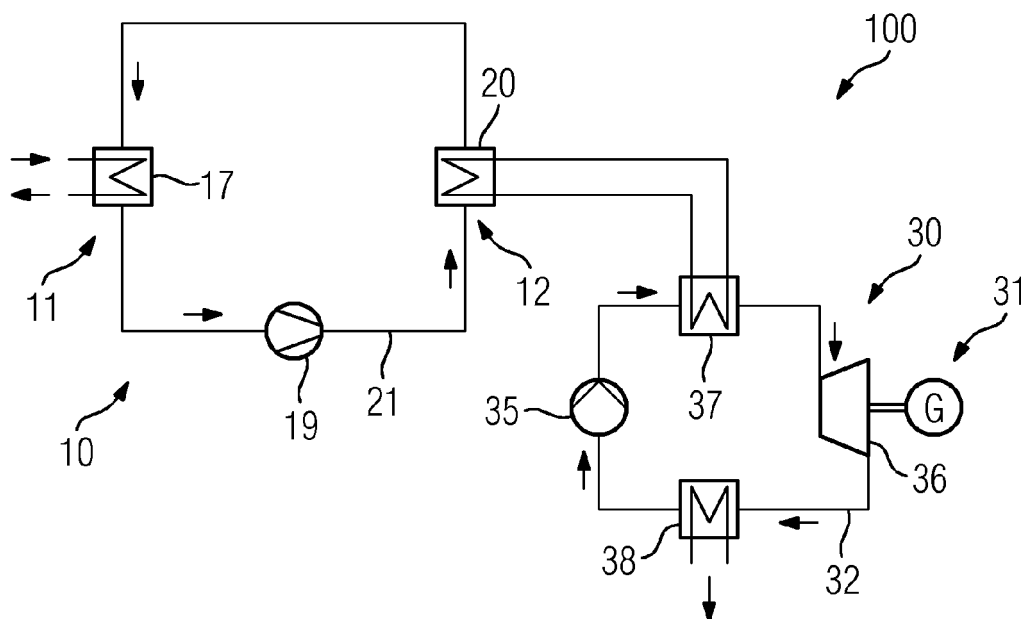


FIG 6

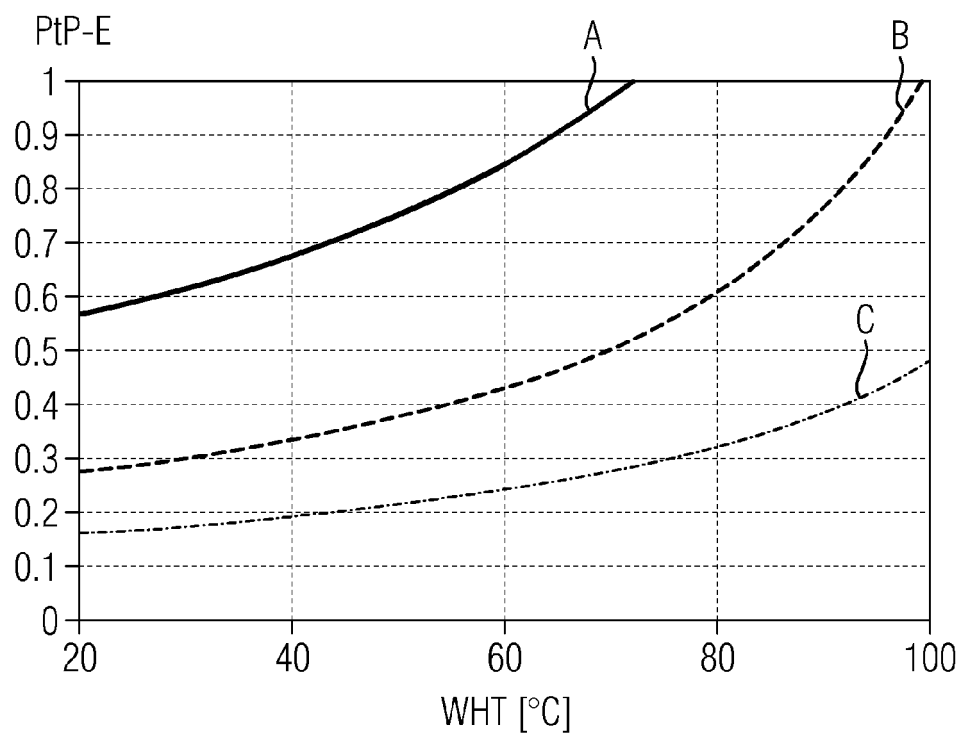
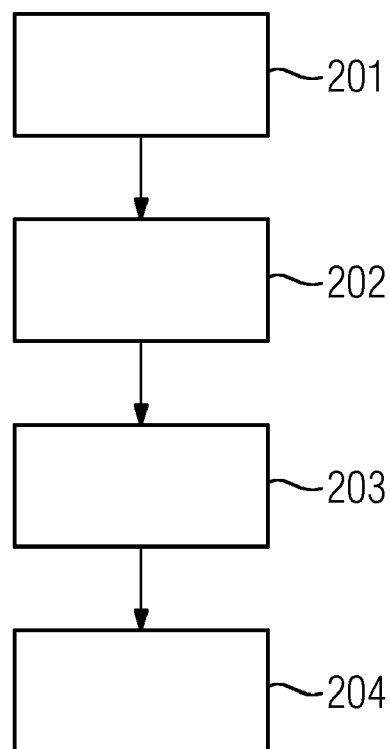


FIG 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 15 2372

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	US 2011/100611 A1 (OHLER CHRISTIAN [CH] ET AL) 5. Mai 2011 (2011-05-05)	1-8,13,14	INV. F01K3/00
Y	* Absätze [0032], [0043], [0051], [0055]; Abbildung 3 *	11,12	ADD. F25B7/00

X	EP 2 390 473 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 30. November 2011 (2011-11-30)	1,9,10	
	* Absätze [0015], [0016], [0049]; Abbildungen 1a, 1b *		

Y	US 4 682 476 A (PAYRE DIDIER [FR] ET AL) 28. Juli 1987 (1987-07-28)	11,12	
	* Zusammenfassung; Abbildung 4 *		

A	EP 2 241 737 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 20. Oktober 2010 (2010-10-20)	1-14	
	* Abbildungen 1, 2, 5 *		

A	EP 1 577 548 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 21. September 2005 (2005-09-21)	1-14	
	* Absätze [0010] - [0016]; Abbildungen 1-3 *		

A	DE 10 2010 019964 A1 (BISCHOFF RALF [DE]; LEHMANN MATTHIAS [DE]) 10. November 2011 (2011-11-10)	11,12	
	* Anspruch 10; Abbildungen 1-2 *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		5. Juli 2013	Melo Sousa, Filipe
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
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			

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 13 15 2372

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.

05-07-2013

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011100611 A1	05-05-2011	AT 503915 T	15-04-2011
		CN 102099551 A	15-06-2011
		DK 2182179 T3	11-07-2011
		EP 2182179 A1	05-05-2010
		ES 2363455 T3	04-08-2011
		RU 2011105632 A	27-08-2012
		US 2011100611 A1	05-05-2011
		WO 2010006942 A2	21-01-2010
EP 2390473 A1	30-11-2011	CN 103003531 A	27-03-2013
		EP 2390473 A1	30-11-2011
		US 2013087301 A1	11-04-2013
		WO 2011147701 A1	01-12-2011
US 4682476 A	28-07-1987	CA 1236312 A1	10-05-1988
		DE 3466059 D1	15-10-1987
		EP 0130908 A1	09-01-1985
		FR 2548340 A1	04-01-1985
		JP S6026261 A	09-02-1985
		US 4682476 A	28-07-1987
		US 4873842 A	17-10-1989
EP 2241737 A1	20-10-2010	CN 102459846 A	16-05-2012
		EP 2241737 A1	20-10-2010
		JP 2012523815 A	04-10-2012
		US 2012060501 A1	15-03-2012
		WO 2010118915 A1	21-10-2010
EP 1577548 A1	21-09-2005	CN 1950601 A	18-04-2007
		EP 1577548 A1	21-09-2005
		EP 1725769 A1	29-11-2006
		JP 2007529665 A	25-10-2007
		US 2008022683 A1	31-01-2008
		WO 2005088122 A1	22-09-2005
DE 102010019964 A1	10-11-2011	KEINE	

EPO FORM P0461

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

55

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **COT-GORES, J. ; CASTELL, A. ; CABEZA, L.F.** Thermochemical Energy Storage and Conversion: A State of the Art Review of the Experimental Research under Practical Conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, 5207-5224 **[0025]**
- **WONGSUWAN, W. ; KUMAR, S. ; NEVEU, P. ; MEUNIER, F.** A Review of Chemical Heat Pump Technology and Applications. *Applied Thermal Engineering*, 2001, vol. 21, 1489-1519 **[0025]**