

(19)



(11)

EP 3 379 040 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.01.2021 Patentblatt 2021/02

(51) Int Cl.:
F01K 3/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17161768.1**

(22) Anmeldetag: **20.03.2017**

(54) **KRAFTWERK ZUM ERZEUGEN VON ELEKTRISCHER ENERGIE UND VERFAHREN ZUM
BETREIBEN EINES KRAFTWERKS**

POWER PLANT FOR GENERATING ELECTRIC POWER AND A METHOD FOR OPERATING A
POWER PLANT

CENTRALE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET SON PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.09.2018 Patentblatt 2018/39

(73) Patentinhaber: **Lumenion GmbH
10829 Berlin (DE)**

(72) Erfinder: **ZWINKELS, Andrew
10827 Berlin (DE)**

(74) Vertreter: **Ridderbusch, Oliver
Prisma IP
Patentanwaltskanzlei
Landshuter Allee 10
80637 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 2 101 051 WO-A2-2012/000002
DE-A1-102012 103 621 DE-A1-102013 016 077**

- **"WINDPOWER SURFACES AS NEAR-TERM
GENERATION OPTION", POWER,
MCGRAW-HILL COMPAGNY, NEW YORK, NY,
US, Bd. 139, Nr. 1, 1. Januar 1995 (1995-01-01),
Seiten 36,38-40, XP000489982, ISSN: 0032-5929**

EP 3 379 040 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Offenbarung betrifft gemäß Anspruch 1 ein Kraftwerk zum Erzeugen von elektrischer Energie. Außerdem betrifft die Offenbarung gemäß Anspruch 9 ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerks.

[0002] Bei dem Kraftwerk kann es sich beispielsweise um eine Anlage handeln, welche einen Energieträger verbrennt, um durch die freiwerdende Wärmeenergie elektrischen Strom zu erzeugen. Umfasst sind beispielsweise Gaskraftwerke und Kohlekraftwerke, welche als Energieträger Erdgas oder Kohle verbrennen. Auch kann mit zum Beispiel einem Reformier ein Synthesegas oder Wasserstoffgas erzeugt und verbrannt werden.

[0003] Die Menge an erzeugter elektrischer Energie, die von zahlreichen Erzeugern in ein elektrisches Netz eingespeist wird, schwankt zeitlich stark. Insbesondere durch die verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen schwankt die Gesamtmenge an erzeugter elektrischer Energie zeitlich stark. Dadurch kann die verfügbare elektrische Energie einen momentanen Bedarf erheblich übertreffen. Beispielsweise in solchen Fällen ist es wünschenswert, erzeugte elektrische Energie zu speichern. Energiespeicher, die Energie in elektrischer oder chemischer Form speichern (wie zum Beispiel elektrochemische Batterien oder Kondensatoren) können zu vertretbaren Kosten aber nur verhältnismäßig geringe Energiemengen speichern. Um größere Energiemengen zu speichern, werden auch Pumpspeicherwerke genutzt. Diese erfordern jedoch einen großen Höhenunterschied, was in der Regel nur in Gebirgsregionen umsetzbar ist.

[0004] Die Anmelderin hat in vorausgegangenen Erfindungen Lösungsvorschläge entwickelt (Patentanmeldungen EP 14 187 132, EP 15 183 855, EP 15 183 857), wobei elektrische Energie vorübergehend in Wärmeenergie gespeichert wird und im Kraftwerk wieder in elektrische Energie gewandelt werden kann. Eine gattungsgemäße Wärmespeichervorrichtung ist beispielsweise von der Anmelderin in der europäischen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 14 187 132 beschrieben.

[0005] Ein solches gattungsgemäßes Kraftwerk zum Erzeugen von elektrischer Energie umfasst mindestens eine Wärmespeichervorrichtung zum Speichern von elektrischer Energie in Wärmeenergie. Jede Wärmespeichervorrichtung weist mindestens eine Wärmespeichereinheit auf, wobei jede Wärmespeichereinheit wiederum umfasst:

- einen elektrischen Heizer zum Umwandeln von elektrischer Energie in Wärmeenergie,
- mindestens einen Wärmespeicherkörper zum Aufnehmen und Speichern von Wärmeenergie des elektrischen Heizers,
- einen Wärmetauscher zum Aufnehmen von Wärmeenergie vom Wärmespeicherkörper, wobei der Wärmetauscher Wärmetauscherrohre zum Leiten eines Wärmespeicherfluids umfasst.

[0006] Das Kraftwerk umfasst außerdem mindestens eine erste Turbine und einen Generator, der mit der ersten Turbine gekoppelt ist, zum Erzeugen von elektrischer Energie aus einer von der Turbine bereitgestellten Drehbewegung.

[0007] Demnach wird elektrische Energie einem externen Stromnetz entnommen und mit den elektrischen Heizern in Wärmeenergie umgewandelt. Der elektrische Heizer kann beispielsweise Widerstandselemente umfassen, die Wärme erzeugen, wenn sie von einem elektrischen Strom durchflossen werden. Die Wärmeenergie wird sodann im Wärmespeicherkörper gespeichert. Dieser kann beispielsweise eine Metallplatte umfassen. An den Wärmespeicherkörper grenzt ein Wärmetauscher an, welcher zumindest Rohre umfasst, durch die das Wärmespeicherfluid durchgeleitet wird. Die Rohre des Wärmetauschers können entweder direkt den Wärmespeicherkörper kontaktieren oder über ein Wärmeleitmaterial (beispielsweise einen Metallkörper), der Teil des Wärmetauschers ist, mit dem Wärmespeicherkörper verbunden sein. Der Wärmetauscher kann in der Länge und dem Querschnitt seiner Rohre so ausgelegt sein, dass das Wärmespeicherfluid beim Durchströmen des Wärmetauschers verdampft, also beispielsweise flüssiges Wasser in Wasserdampf gewandelt wird.

[0008] Mit einem solchen Kraftwerk wird elektrische Energie aus einem externen Stromnetz aufgenommen und mit der Wärmespeichervorrichtung in Form von Wärmeenergie gespeichert. Zudem kann die gespeicherte Wärmeenergie wieder in elektrische Energie gewandelt und an das externe Stromnetz ausgegeben werden. Mit einer Steuereinheit kann eingestellt werden, ob momentan mehr elektrische Energie aus dem Stromnetz aufgenommen oder an das Stromnetz abgegeben wird. Dadurch können Schwankungen einer Energiemenge im Stromnetz zumindest teilweise kompensiert werden.

[0009] In entsprechender Weise umfasst ein gattungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerks zum Erzeugen von elektrischer Energie die folgenden Schritte:

- Umwandeln von elektrischer Energie in Wärmeenergie mit einem elektrischen Heizer einer Wärmespeichereinheit, welche Teil von mindestens einer Wärmespeichervorrichtung sein kann,
- Aufnehmen und Speichern von Wärmeenergie des elektrischen Heizers mit mindestens einem Wärmespeicherkörper der Wärmespeichereinheit,
- Übertragen von Wärmeenergie Wärmespeicherkörper auf ein Wärmespeicherfluid mit Hilfe eines Wärmetauschers, welcher Wärmetauscherrohre zum Leiten eines Wärmespeicherfluids umfasst,
- Antreiben mindestens einer ersten Turbine und
- Erzeugen von elektrischer Energie aus einer von der Turbine bereitgestellten Drehbewegung mit Hilfe eines Generators, der mit der ersten Turbine gekoppelt ist.

[0010] Die Wärmespeicherkörper werden hierbei zwischen einer Minimaltemperatur und einer Maximaltemperatur betrieben. Die Temperaturdifferenz hierzwischen bestimmt, welche Energiemenge der Wärmespeicherkörper im Betrieb speichern und an das Wärmespeicherfluid freigeben kann. Eine variable Temperatur der Wärmespeicherkörper hat aber zur Folge, dass die Temperatur des Wärmespeicherfluids nach Durchströmen eines Wärmetauschers auch abhängig ist von der momentanen Temperatur des zugehörigen Wärmespeicherkörpers. Die Temperatur des Wärmespeicherfluids kann daher im Betrieb erheblich schwanken.

[0011] Gleichzeitig sollte eine Turbine mit Dampf, der eine bestimmte und möglichst konstante Temperatur hat, angetrieben werden. So ist einerseits der Wirkungsgrad einer Turbine abhängig von der Temperatur des durchströmenden Dampfes und andererseits können ungewünschte Materialbeanspruchungen auftreten, wenn sich die Temperatur des durchströmenden Dampfes rasch ändert.

[0012] Diese Probleme sind bei bekannten Kraftwerken nicht zufriedenstellend gelöst.

[0013] Kraftwerke zum Erzeugen elektrischer Energie, welche einen Wärmespeicher nutzen, sind außerdem bekannt aus DE 10 2012 103621 A1 und EP 2 101 051 A1. Bei DE 10 2012 103 621 A1 sollen fluktuierende Überkapazitäten eines externen Stromnetzes genutzt werden, wozu dem Stromnetz elektrische Energie entnommen, in Wärme umgewandelt und in einem Wärmespeicher gespeichert wird. Ein Wärmeträgerkreislauf kann Wärme vom Wärmespeicher über einen Wärmetauscher auf einen Arbeitsfluidkreislauf übertragen; dort wird Wasser verdampft und so wird eine Turbine zur Stromerzeugung angetrieben. Ein weiterer Wärmespeicher mit Wärmetauscher ist zudem in WO 2012/000002 A2 beschrieben. Eine Vorrichtung zum Speichern von elektrischer Energie in Form von Wärme ist zudem in DE 10 2013 016 077 A1 beschrieben.

[0014] Als eine **Aufgabe** der Erfindung kann angesehen werden, ein Kraftwerk und ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerks anzugeben, mit dem besonders effizient Energie vorübergehend gespeichert und sodann wieder in elektrischer Form ausgegeben werden kann.

[0015] Diese Aufgabe wird durch das Kraftwerk gemäß Anspruch 1 sowie durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst.

[0016] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Kraftwerks und des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und werden in der folgenden Beschreibung erläutert.

[0017] Bei dem oben beschriebenen Kraftwerk ist erfindungsgemäß ein Wärmespeicherfluid-Kreislauf mit dem Wärmetauscher oder den Wärmetauschern verbunden. Ein vom Wärmespeicherfluid-Kreislauf verschiedener Arbeitsfluid-Kreislauf ist mit der ersten Turbine (und insbesondere mit eventuell vorhandenen weiteren Turbinen) verbunden. Mindestens ein erster Fluidkreislauf-Wärmetauscher ist vorhanden und mit dem Wärmespei-

cherfluid-Kreislauf sowie dem Arbeitsfluid-Kreislauf verbunden, zum Übertragen von Wärme vom Wärmespeicherfluid auf ein Arbeitsfluid im Arbeitsfluid-Kreislauf.

[0018] In entsprechender Weise ist das oben beschriebene Verfahren erfindungsgemäß durch zumindest die folgenden Schritte gekennzeichnet:

- Leiten des Wärmespeicherfluids entlang einem Wärmespeicherfluid-Kreislauf, welcher mindestens einen ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher umfasst,
- Übertragen von Wärmeenergie mit Hilfe des mindestens ersten Fluidkreislauf-Wärmetauschers vom Wärmespeicherfluid auf ein Arbeitsfluid,
- Leiten des Arbeitsfluids in einem Arbeitsfluid-Kreislauf zu der ersten Turbine zum Antreiben der ersten Turbine.

[0019] Demnach wird das Wärmespeicherfluid nicht durch die Turbine(n) geleitet. Vielmehr wird allein das Arbeitsfluid durch die Turbine(n) geleitet. Dadurch hat eine Temperaturschwankung des Wärmespeicherfluids nur eine geringe Auswirkung auf die Temperatur des Arbeitsfluids. Vorteilhafterweise kann somit die Turbine mit Dampf einer weitgehend konstanten Temperatur angetrieben werden. Außerdem wird ein verhältnismäßig hoher Druck von beispielsweise 100bar nur bei der oder den Turbine(n) benötigt. Durch die beiden getrennten Kreisläufe muss der Druck des Fluids an den Wärmespeichereinheiten nicht so hoch sein wie der Fluidruck an den Turbinen.

[0020] So kann beispielsweise eine Arbeitsfluid-Pumpe betrieben werden, um den Druck des Arbeitsfluids im Arbeitsfluid-Kreislauf zu erhöhen, und es kann eine Wärmespeicherfluid-Pumpe betrieben werden, um den Druck des Arbeitsfluids im Wärmespeicherfluid-Kreislauf zu erhöhen. Dabei werden die Arbeitsfluid-Pumpe und die Wärmespeicherfluid-Pumpe so betrieben, dass der Druck des Arbeitsfluids größer ist als der Druck des Wärmespeicherfluids. Alternativ oder zusätzlich kann die Leistung der Arbeitsfluid-Pumpe größer sein als die der Wärmespeicherfluid-Pumpe. Der höhere Druck kann beispielsweise bei einem Druckvergleich jeweils hinter der jeweiligen Pumpe definiert sein.

[0021] Der Arbeitsfluid-Kreislauf und der Wärmespeicherfluid-Kreislauf können jeweils ein Rohrsystem umfassen, wobei diese beiden Rohrsysteme voneinander getrennt sind. Der Fluidkreislauf-Wärmetauscher kann ein Wärmetauscher sein, welcher voneinander getrennte Leitungen für Wärmespeicherfluid und für Arbeitsfluid aufweist. Über eine Wärmebrücke, beispielsweise eine Metallverbindung zwischen den getrennten Leitungen, wird Wärmeenergie vom Wärmespeicherfluid auf das Arbeitsfluid übertragen.

[0022] Das Wärmespeicherfluid und das Arbeitsfluid können jeweils eine prinzipiell beliebige Flüssigkeit oder beliebiges Gas sein. Das Wärmespeicherfluid kann insbesondere ein Öl, insbesondere ein Thermoöl, sein. Das Öl kann Salze umfassen und kann so bei ca. 200°C

schmelzen und ab dieser Temperatur bis ca. 600°C nutzbar sein. Dadurch eignen sich salzhaltige Thermoöle besonders gut, um Wärmeenergie von den Wärmespeicherheiten aufzunehmen. Das Wärmespeicherfluid kann demnach eine Flüssigkeit sein, die sowohl vor als auch nach Durchlaufen der Wärmetauscher in flüssiger Form vorliegt. Das Arbeitsfluid kann vom Wärmespeicherfluid verschieden sein und insbesondere Wasser oder eine wässrige Lösung sein. Dabei kann das Arbeitsfluid beim Durchströmen des oder der Fluidkreislauf-Wärmetauscher(s) verdampft werden. Insbesondere kann die Siedetemperatur des Arbeitsfluids bei dem durch die Arbeitsfluid-Pumpe erzeugten Druck niedriger als 200°C sein, so dass gewährleistet ist, dass das Arbeitsfluid stets im Fluidkreislauf-Wärmetauscher verdampft wird, unabhängig davon, ob das Wärmespeicherfluid momentan eine hohe Temperatur (ca. 600°C) oder eine niedrige Temperatur (ca. 250°C) hat.

[0023] Erfindungsgemäß werden mehrstufige Turbinensysteme eingesetzt. So sind eine zweite Turbine und ein zweiter Fluidkreislauf-Wärmetauscher vorhanden. Die zweite Turbine ist ebenfalls mit dem Generator oder mit einem zweiten Generator gekoppelt, um diesen anzutreiben. Im Arbeitsfluid-Kreislauf ist die erste Turbine stromabwärts vom ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher angeordnet. Der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher ist stromabwärts von der ersten Turbine angeordnet. Die zweite Turbine ist stromabwärts vom zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher angeordnet. Arbeitsfluid wird somit zunächst im ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher erhitzt (und insbesondere verdampft) und durchströmt sodann die erste Turbine. Anschließend durchströmt das Arbeitsfluid den zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher, wird dabei wieder erhitzt und treibt darauf die zweite Turbine an.

[0024] Der erste und zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher können voneinander getrennt und insbesondere gleich gebildet sein. Alternativ können der erste und zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher aber auch durch eine Einheit gebildet sein, welche jeweils separate Leitungen für das Wärmespeicherfluid, für das Arbeitsfluid vor Durchströmen der ersten Turbine und für das Arbeitsfluid nach Durchströmen der ersten Turbine umfasst.

[0025] Der erste und der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher sind im Wärmespeicherfluid-Kreislauf in zwei zueinander parallelen Leitungen angeordnet. Der Wärmespeicherfluid-Kreislauf weist demnach eine Aufzweigung auf zwei Leitungen auf, die beide von Wärmespeicherfluid durchströmt werden. In der einen dieser Leitungen ist der erste Fluidkreislauf-Wärmetauscher angeordnet und in der anderen dieser Leitungen ist der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher angeordnet. Die beiden Leitungen münden ineinander stromabwärts zu den beiden Fluidkreislauf-Wärmetauschern. Die "parallele" Anordnung ist daher nicht als geometrisch parallel, sondern als Gegensatz zu einer Reihenanordnung hintereinander anzusehen, bei welcher die beiden Fluidkreislauf-Wärmetauscher nacheinander durchströmt würden. Vorteil-

hafterweise kann hierdurch ein hinreichend hoher Wärmeübertrag in beiden Wärmetauschern gewährleistet werden.

[0026] Eine Steuereinrichtung ist im Wärmespeicherfluid-Kreislauf vorhanden und dazu eingerichtet, eine Aufteilung von Wärmespeicherfluid zu dem ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher und dem zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher variabel einzustellen. Hierdurch können ein Wärmeübertrag vom Wärmespeicherfluid auf das Arbeitsfluid für die beiden Fluidkreislauf-Wärmetauscher voneinander verschieden eingestellt werden. So kann etwa das Arbeitsfluid nach Durchströmen der ersten Turbine abgekühlt sein, aber noch wärmer sein als vor Durchströmen des ersten Fluidkreislauf-Wärmetauschers sein. In diesem Fall müsste das Arbeitsfluid im zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher weniger Wärmeenergie aufnehmen als im ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher. Dazu kann die Steuereinrichtung beispielsweise mehr Wärmespeicherfluid zu dem ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher als zu dem zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher leiten.

[0027] Im Arbeitsfluid-Kreislauf kann ein erster Bypass um den ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher vorhanden sein, um Arbeitsfluid unter Umgehung des ersten Fluidkreislauf-Wärmetauschers zur ersten Turbine zu leiten. Unter einem Bypass kann demnach eine Umgehungsleitung verstanden werden. Eine erste Bypass-Steuereinrichtung kann vorgesehen und dazu eingerichtet sein, eine Aufteilung von Arbeitsfluid zum ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher und zum ersten Bypass variabel einzustellen. In dieser Weise kann ein Wärmeübertrag im ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher auf das Arbeitsfluid variiert werden. Hierdurch können beispielsweise Temperaturschwankungen des Wärmespeicherfluids teilweise oder vollständig kompensiert werden, so dass ein Wärmeübertrag auf das Arbeitsfluid nur gering von einer Temperaturschwankung des Wärmespeicherfluids beeinflusst wird.

[0028] Somit können der erste Bypass und die Steuereinrichtung einen ersten Quenchkühler bilden. Dieser ist ein Mischer, bei dem ein Fluid abgekühlt wird, indem es mit einem kühleren Fluid vermischt wird. Im vorliegenden Fall ist das kühlere Fluid der Anteil des Arbeitsfluids, welcher den ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher umgangen hat.

[0029] In analoger Weise kann ein zweiter Bypass in Bezug auf den zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher vorgesehen sein. Hierbei kann im Arbeitsfluid-Kreislauf ein zweiter Bypass um den zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher vorhanden sein, um Arbeitsfluid unter Umgehung des zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauschers zur zweiten Turbine zu leiten. Eine zweite Bypass-Steuereinrichtung kann vorgesehen und dazu eingerichtet sein, eine Aufteilung von Arbeitsfluid zum zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher und zum zweiten Bypass variabel einzustellen. Hierdurch können wiederum die beiden Fluidkreislauf-Wärmetauscher unterschiedlich betrieben werden und es kann jeweils eine gewünschte Tempera-

tur des Arbeitsfluids nach Durchströmen des jeweiligen Fluidkreislauf-Wärmetauschers eingestellt werden.

[0030] Prinzipiell ist es auch möglich, alternativ oder zusätzlich zu den oben beschriebenen Bypässen einen oder zwei entsprechende Bypässe für Wärmespeicherfluid im Wärmespeicherfluid-Kreislauf vorzusehen. Bei einem solchen Bypass wird ein variabler Anteil des Wärmespeicherfluids durch den zugehörigen Fluidkreislauf-Wärmetauscher geleitet, um einen Wärmeübertrag auf das Arbeitsfluid zu variieren.

[0031] Es kann vorteilhaft sein, wenn im Betrieb des Kraftwerks das Wärmespeicherfluid stets in flüssiger Form vorliegt und nicht verdampft wird. Bei einer Verdampfung würde das Wärmespeicherfluid schlagartig große Energiemengen dem Wärmespeicher entziehen, sobald es dessen Rand oder Anfang erreicht. Nachteiligerweise würde dadurch der Wärmespeicher räumlich ungleichmäßig entladen. Zudem würde die schlagartige Verdampfung zu Materialbeanspruchungen führen. Diese Probleme werden vermieden, wenn das Wärmespeicherfluid nicht verdampft wird. Im Gegensatz hierzu sollte das Arbeitsfluid zum Antreiben der Turbine(n) als Dampf oder Gas vorliegen. Dies wird durch die zwei getrennten Fluidkreisläufe und unterschiedliche Fluide möglich: Das Arbeitsfluid kann einen niedrigeren Siedepunkt / Siedetemperatur als das Wärmespeicherfluid haben, so dass das Arbeitsfluid im ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher verdampft. Einen gegebenenfalls vorhandenen zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher betritt das Arbeitsfluid in der Regel in Dampfform und wird weiter erhitzt / überhitzt.

[0032] Eine elektrische Energieaufnahme durch die elektrischen Heizer ist bei einem niedrigen Strompreis sinnvoll, das heißt bei einem Überangebot an elektrischer Energie in einem Stromnetz, welches hier als externes Stromnetz bezeichnet wird. Die Turbine und der Generator können hingegen zeitlich verhältnismäßig stabil betrieben werden, also keine zeitlich stark schwankenden Änderungen aufweisen. Es kann eine elektrische Steuereinheit vorgesehen und dazu eingerichtet sein, variabel einzustellen, ob momentan mehr elektrische Energie aus einem externen Stromnetz durch den oder die elektrischen Heizer aufgenommen oder an das externe Stromnetz durch den Generator ausgegeben wird.

[0033] Bevorzugte Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich durch bestimmungsgemäßen Gebrauch des erfindungsgemäßen Kraftwerks. Zudem sind die beschriebenen Verfahrensvarianten auch als Varianten des erfindungsgemäßen Kraftwerks anzusehen.

[0034] Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung werden nachstehend mit Bezug auf die beigelegten schematischen Figuren beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine Wärmespeichervorrichtung eines erfindungsgemäßen Kraftwerks in einer Perspektivdarstellung.

Fig. 2 zeigt die Wärmespeichervorrichtung aus Fig. 1

in einer Schnittansicht.

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kraftwerks, umfassend die Wärmespeichervorrichtung der Figuren 1 und 2.

[0035] Gleiche und gleichwirkende Komponenten sind in den Figuren in der Regel mit übereinstimmendem Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0036] Ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kraftwerks 110 ist schematisch in Fig. 3 gezeigt.

[0037] Das Kraftwerk 110 umfasst eine erste Turbine 120 und eine zweite Turbine 121 oder kann auch noch weitere Turbinen (nicht dargestellt) umfassen. Die Turbinen 120, 121 werden durch ein durchströmendes Arbeitsfluid angetrieben. Das Arbeitsfluid kann ein Dampf, beispielsweise Wasserdampf, sein. Mit den Turbinen 120, 121 ist ein Generator 123 gekoppelt, welcher die Rotationsenergie, die durch die Turbinen 120, 121 bereitgestellt wird, in elektrische Energie umwandelt. Die elektrische Energie wird sodann an ein externes Stromnetz ausgegeben.

[0038] Das Kraftwerk 110 wird genutzt, um Schwankungen in der Menge an elektrischer Energie in dem externen Stromnetz auszugleichen. Hierzu soll das Kraftwerk 110 elektrische Energie aus dem externen Stromnetz aufnehmen, wenn dort insbesondere ein Überangebot vorhanden ist. Bei einem Überangebot kann ein Strompreis zwischenzeitlich sehr klein oder sogar negativ werden, womit die Aufnahme elektrischer Energie beinahe kostenlos oder in manchen Fällen sogar geldeinbringend ist. Die aufgenommene elektrische Energie soll im Kraftwerk 110 gespeichert werden und zu einer anderen Zeit wieder als elektrische Energie ausgegeben werden.

[0039] Zu dieser vorübergehenden Energiespeicherung umfasst das Kraftwerk 110 mindestens eine Wärmespeichervorrichtung 100. Im Beispiel von Fig. 3 sind mehrere Wärmespeichervorrichtungen 100 vorhanden. Eine Wärmespeichervorrichtung 100 ist näher in Figur 1 als Perspektivansicht und in Figur 2 als Schnittansicht dargestellt. Jede Wärmespeichervorrichtung 100 umfasst mindestens eine, vorzugsweise mehrere Wärmespeichereinheiten 1, die übereinander gestapelt sind. Jede Wärmespeichereinheit 1 umfasst einen elektrischen Heizer 10. Dieser wandelt elektrische Energie in Wärmeenergie um, vorzugsweise im Wesentlichen vollständig, das heißt mehr als 90% der vom elektrischen Heizer 10 aufgenommenen Energie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Die elektrische Energie wird aus dem externen Stromnetz aufgenommen. Jede Wärmespeichereinheit 1 umfasst weiterhin mindestens einen, insbesondere genau zwei, Wärmespeicherkörper 30, 31. Diese können Metallkörper oder -platten sein, welche der Speicherung von Wärmeenergie dienen. Die Wärmespeicherkörper 30, 31 sind benachbart zum elektrischen Heizer 10, um Wärmeenergie vom elektrischen Heizer 10 aufzuneh-

men. Jede Wärmespeichereinheit umfasst schließlich auch einen Wärmetauscher 50, welcher mehrere Wärmespeicherrohre 51 aufweist. Jeder Wärmetauscher 50 ist benachbart zu mindestens einem der Wärmespeicherkörper 30. Dadurch wird Wärmeenergie vom Wärmespeicherkörper 30 auf die Wärmetauscherrohre und ein darin befördertes Wärmespeicherfluid übertragen. Über ein Verteilerrohr 45 wird Wärmespeicherfluid auf die verschiedenen Wärmetauscher 50 aufgeteilt. Nach Durchströmen der Wärmetauscher 50 wird das Wärmespeicherfluid in einem Sammelrohr 55 zusammengeführt.

[0040] Die Wärmeenergie des Wärmespeicherfluids kann nun genutzt werden, um wieder elektrische Energie zu erzeugen. Als ein wesentlicher Gedanke der Erfindung wird das Wärmespeicherfluid aber nicht durch die Turbinen 120, 121 geleitet. Vielmehr wird die Wärme vom Wärmespeicherfluid auf ein hiervon verschiedenes Arbeitsfluid übertragen, das in einem separaten Kreislauf, dem Arbeitsfluid-Kreislauf 140, geleitet wird. Das Wärmespeicherfluid zirkuliert in einem eigenen Kreislauf, dem Wärmespeicherfluid-Kreislauf 130.

[0041] Hierdurch werden verschiedene Nachteile überwunden, die bei einem einzigen Kreislauf auftreten würden: Zum Antreiben von Turbinen wird häufig Wasserdampf verwendet; Wird als Wärmespeicherfluid Wasser verwendet, würde es daher von den Wärmespeichereinheiten verdampft werden. Bei solch einem Phasenübergang wird an der Kante der Wärmespeichereinheit (das heißt am Eingangsbereich, in dem Wärmespeicherfluid zur Wärmespeichereinheit gelangt) äußerst viel Wärmeenergie der Wärmespeichereinheit entnommen. Dadurch würde der Wärmespeicher ungleichmäßig entladen und Materialbelastungen können hoch sein. Außerdem muss der Druck des Fluids an der Turbine verhältnismäßig hoch sein. Bei einem einzigen Kreislauf hätte dies zur Folge, dass sämtliche Leitungen an den Wärmespeichereinheiten ebenfalls für höhere Drücke ausgelegt werden müssten. Die Temperatur des Wärmespeicherfluids hängt zudem von der momentanen Temperatur der Wärmespeichereinheiten ab und schwankt daher. Turbinen haben hingegen einen maximalen Wirkungsgrad nur für bestimmte Temperatur/Druck-Eigenschaften des auftreffenden Fluids.

[0042] Diese Nachteile werden vollständig oder zumindest teilweise überwunden, indem zwei voneinander getrennte Kreisläufe, der Arbeitsfluid-Kreislauf 140 und der Wärmespeicherfluid-Kreislauf 130, verwendet werden.

[0043] Im Wärmespeicherfluid-Kreislauf 130 ist eine Wärmespeicherfluid-Pumpe 125 angeordnet, welche das Wärmespeicherfluid im Kreislauf 130 zirkuliert. Zudem ist im Arbeitsfluid-Kreislauf 140 eine Arbeitsfluid-Pumpe 145 angeordnet, welche das Arbeitsfluid im Kreislauf 140 zirkuliert. Durch die Arbeitsfluid-Pumpe 145 wird ein wesentlich höherer Druck bereitgestellt als durch die Wärmespeicherfluid-Pumpe 125, beispielsweise ein mindestens 10mal so hoher Druck.

[0044] Das Wärmespeicherfluid kann einen höheren

Siedepunkt haben als das Arbeitsfluid, so dass das Wärmespeicherfluid als Flüssigkeit vorliegt und nicht durch Wärme von den Wärmespeichereinheiten verdampft wird. Hingegen wird das Arbeitsfluid durch die Wärmeenergie vom Wärmespeicherfluid verdampft und nach Durchströmen der Turbinen 120, 121 in einem Kondensator 124 verflüssigt. Der Kondensator 124 kann, wie dargestellt, einen Wärmetauscher umfassen, über den Wärme vom Arbeitsfluid abgeführt wird, beispielsweise auf eine Flüssigkeit, die sodann weiter verwendet werden kann, zum Beispiel zu Heizzwecken. Indem Wärmespeicherfluid nicht verdampft wird, wird der oben geschilderte Nachteil vermieden, dass durch eine Verdampfung schlagartig große Energiemengen einem Teil des Wärmespeicherkörpers 30 entzogen wird. Das Wärmespeicherfluid kann beispielsweise ein Öl sein, während das Arbeitsfluid Wasser oder eine wässrige Lösung ist.

[0045] Um Wärmeenergie vom Wärmespeicherfluid auf das Arbeitsfluid zu übertragen, ist mindestens ein erster Fluidkreislauf-Wärmetauscher 131 vorhanden. Im dargestellten Beispiel ist auch ein zweiter Fluidkreislauf-Wärmetauscher 132 vorgesehen. Durch jeden dieser Wärmetauscher 131, 132 hindurch wird Arbeitsfluid und getrennt hiervon auch Wärmespeicherfluid geleitet, wobei die jeweiligen Rohre für einen hohen Wärmetransfer thermisch miteinander gekoppelt sind.

[0046] Der erste Fluidkreislauf-Wärmetauscher 131 ist hinsichtlich des Arbeitsfluid-Kreislaufs 140 vor der Turbine 120 angeordnet. Der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher 132 ist hingegen hinsichtlich des Arbeitsfluid-Kreislaufs 140 zwischen den beiden Turbinen 120, 121 angeordnet.

[0047] Die beiden Fluidkreislauf-Wärmetauscher 131, 132 sind hinsichtlich des Wärmespeicherfluid-Kreislaufs 130 parallel zueinander angeordnet. Hierbei kann eine Leitung des Wärmespeicherfluids vor den beiden Fluidkreislauf-Wärmetauschern 131, 132 sich auf zwei Leitungen 135, 136 aufteilen, welche durch jeweils einen der beiden Fluidkreislauf-Wärmetauscher 131, 132 verlaufen. Danach werden die beiden Leitungen 135, 136 wieder zusammengeführt.

[0048] Wie dargestellt, können zumindest einige der Wärmespeichervorrichtungen 100 auf zueinander parallelen Leitungen angeordnet sein. Dies hat den Vorteil, dass die parallel zueinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen 100 im Wesentlichen gleich stark entladen werden, das heißt insbesondere im Wesentlichen gleich viel Energie auf das durchströmende Wärmespeicherfluid übergeht. So wird vermieden, dass eine Wärmespeichervorrichtung 100 eine Maximaltemperatur erreicht hat und demnach keine weitere Energie aus dem externen Stromnetz aufnehmen und speichern kann, während eine andere der Wärmespeichervorrichtungen 100 weit von der Maximaltemperatur entfernt ist. Wenn möglichst viele der Wärmespeichervorrichtungen 100 gleichzeitig elektrische Energie aufnehmen können, ist eine maximal mögliche Aufnahme elektrischer Energie vorteilhafterweise höher.

[0049] Zudem können einige der Wärmespeichervorrichtungen 100 im Wärmespeicherfluid-Kreislauf 130 hintereinander angeordnet sein, also nacheinander vom Wärmespeicherfluid durchströmt werden. Hierbei ist zwar die Entladung (also der Wärmetransfer auf das Wärmespeichermedium) aus den hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen 100 unterschiedlich. Allerdings resultieren aus dieser Anordnung ebenfalls Vorteile: Das Wärmespeicherfluid sollte eine Minimaltemperatur nicht unterschreiten, woraus eine Minimaltemperatur für eine Wärmespeichervorrichtung 100 resultiert. Es ist aber wünschenswert, dass eine Minimaltemperatur der Wärmespeichervorrichtung 100 gering ist, denn dadurch ist eine mögliche Temperaturdifferenz der Wärmespeichervorrichtung 100 und somit ihre Speicherkapazität hoch. Sind zwei oder mehr Wärmespeichervorrichtungen 100 hintereinander angeordnet, können diese mit unterschiedlichen Minimaltemperaturen betrieben werden. Eine vordere dieser Wärmespeichervorrichtungen 100 kann eine niedrigere Minimaltemperatur haben als eine hintere dieser Wärmespeichervorrichtungen 100. Die hintere Wärmespeichervorrichtung 100 garantiert eine gewünschte Mindesttemperatur des Wärmespeicherfluids. Die vordere Wärmespeichervorrichtung 100 kann hingegen über einen sehr großen Temperaturbereich betrieben werden (das heißt über einen größeren Temperaturbereich als die hintere Wärmespeichervorrichtung 100) und hat demnach eine besonders hohe Speicherkapazität. Alternativ oder zusätzlich können auch die jeweiligen Maximaltemperaturen von hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen 100 unterschiedlich sein.

[0050] In anderen Worten kann eine Steuereinrichtung vorgesehen sein und dazu betrieben werden, von den hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen 100 eine vordere Wärmespeichervorrichtung 100 über einen größeren Temperaturbereich zu betreiben als eine hintere Wärmespeichervorrichtung 100.

[0051] Für die gesamte Speicherkapazität einer Wärmespeichervorrichtung 100 ist außer ihres Temperaturbereichs, das heißt des Bereichs zwischen der im Betrieb genutzten Minimal- und Maximaltemperatur der Wärmespeicherkörper 30, auch die gesamte Masse ihrer Wärmespeicherkörper 30 relevant. Wird eine hintere Wärmespeichervorrichtung 100 aus mehreren hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen ohnehin nur über einen kleineren Temperaturbereich genutzt, bietet es sich an, die Masse ihrer Wärmespeicherkörper geringer zu wählen als die Masse der Wärmespeicherkörper der vorderen Wärmespeichervorrichtung 100. Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem die vordere Wärmespeichervorrichtung mehr Wärmespeichereinheiten umfasst als die hintere Wärmespeichervorrichtung; im Übrigen können die Wärmespeichereinheiten der vorderen und hinteren Wärmespeichervorrichtung 100 gleich sein.

[0052] Das Kraftwerk 110 kann zusätzlich zu den dargestellten Komponenten auch einen Brenner für einen

(fossilen) Energieträger aufweisen, beispielsweise zum Verbrennen von Kohle, Erdgas oder Synthesegas. Die dadurch freiwerdende Wärme kann ebenfalls auf das Arbeitsfluid oder auch das Wärmespeicherfluid übertragen werden. Es kann vorgesehen sein, eine Leistung des Brenners abhängig von einer Stromaufnahme der elektrischen Heizer 10 zu steuern. Eine Stromaufnahme erfolgt insbesondere (oder ausschließlich) dann, wenn ein Überangebot an elektrischer Energie vorliegt. Zu dieser Zeit ist es also wünschenswert, wenn weniger elektrische Energie erzeugt wird und demnach die Leistung des Brenners verringert wird. So kann die Leistung des Brenners auf einen reduzierten Wert erniedrigt werden, wenn die Wärmespeichervorrichtungen 100 geladen werden, insbesondere wenn ihre elektrische Leistungsaufnahme einen vorgegebenen Schwellwert übersteigt. Hingegen wird die Leistung des Brenners nicht auf den reduzierten Wert erniedrigt, sondern auf einem höheren Wert gehalten, wenn die Leistungsaufnahme der elektrischen Heizer nicht den Schwellwert übersteigt.

[0053] Durch das erfindungsgemäße Kraftwerk können in einfacher und kostengünstiger Weise große Mengen elektrischer Energie als Wärmeenergie gespeichert und sodann wieder in elektrische Energie umgewandelt werden.

Patentansprüche

1. Kraftwerk zum Erzeugen von elektrischer Energie, umfassend:

- mindestens eine Wärmespeichervorrichtung (100) zum Speichern von elektrischer Energie in Wärmeenergie, mit mindestens einer Wärmespeichereinheit (1), wobei jede Wärmespeichereinheit (1) umfasst:

- einen elektrischen Heizer (10) zum Umwandeln von elektrischer Energie in Wärmeenergie,
- mindestens einen Wärmespeicherkörper (30, 31) zum Aufnehmen und Speichern von Wärmeenergie des elektrischen Heizers (10),
- einen Wärmetauscher (50) zum Aufnehmen von Wärmeenergie vom Wärmespeicherkörper (30, 31), wobei der Wärmetauscher (50) Wärmetauscherrohre (51) zum Leiten eines Wärmespeicherfluids umfasst,

- mindestens eine erste Turbine (120),
- einen Generator (123), der mit der ersten Turbine (120) gekoppelt ist, zum Erzeugen von elektrischer Energie aus einer von der Turbine bereitgestellten Drehbewegung,
- einen Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130), der mit dem Wärmetauscher (50) oder den Wärme-

tauschern (50) verbunden ist,
 - einen Arbeitsfluid-Kreislauf (140), der mit der ersten Turbine (120) verbunden ist,
 - mindestens einen ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) zum Übertragen von Wärme vom Wärmespeicherfluid auf ein Arbeitsfluid im Arbeitsfluid-Kreislauf (140),

dadurch gekennzeichnet,

dass eine zweite Turbine (121) und ein zweiter Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) vorhanden sind,
dass die zweite Turbine (121) ebenfalls mit dem Generator (123) oder einem zweiten Generator gekoppelt ist, um diesen anzutreiben,
dass im Arbeitsfluid-Kreislauf (140) die erste Turbine (120) stromabwärts vom ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) angeordnet ist,
dass der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) stromabwärts von der ersten Turbine (120) angeordnet ist,
dass die zweite Turbine (121) stromabwärts vom zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) angeordnet ist,
dass der erste und der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131, 132) im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) in zwei zueinander parallelen Leitungen (135, 136) angeordnet sind,
dass eine Steuereinrichtung im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) vorhanden ist, welche dazu eingerichtet ist, eine Aufteilung von Wärmespeicherfluid zu dem ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) und dem zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) variabel einzustellen.

2. Kraftwerk nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Arbeitsfluid-Kreislauf (140) ein erster Bypass um den ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) vorhanden ist, um Arbeitsfluid unter Umgehung des ersten Fluidkreislauf-Wärmetauschers (131) zur ersten Turbine (120) zu leiten, und
dass eine erste Bypass-Steuereinrichtung vorgesehen und dazu eingerichtet ist, eine Aufteilung von Arbeitsfluid zum ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) und zum ersten Bypass variabel einzustellen.
3. Kraftwerk nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Arbeitsfluid-Kreislauf (140) ein zweiter Bypass um den zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) vorhanden ist, um Arbeitsfluid unter Umgehung des zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauschers (132) zur zweiten Turbine (121) zu leiten, und
dass eine zweite Bypass-Steuereinrichtung vorgesehen und dazu eingerichtet ist, eine Aufteilung von Arbeitsfluid zum zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) und zum zweiten Bypass variabel ein-

zustellen.

4. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine elektrische Steuereinheit vorgesehen und dazu eingerichtet ist, variabel einzustellen, ob momentan mehr elektrische Energie aus einem externen Stromnetz durch den oder die elektrischen Heizer (10) aufgenommen oder an das externe Stromnetz durch den Generator (123) ausgegeben wird.
5. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass mehrere Wärmespeichervorrichtungen (100) vorgesehen sind, von denen zumindest einige im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) parallel zueinander angeordnet sind.
6. Kraftwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass mehrere Wärmespeichervorrichtungen (100) vorgesehen sind, von denen zumindest einige im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) hintereinander angeordnet sind.
7. Kraftwerk nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Steuereinrichtung vorgesehen ist und dazu betrieben wird, von den hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen (100) eine vordere Wärmespeichervorrichtung (100) über einen größeren Temperaturbereich zu betreiben als eine hintere Wärmespeichervorrichtung (100).
8. Kraftwerk nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine vordere Wärmespeichervorrichtung (100) aus den hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen (100) mehr Wärmespeichereinheiten (1) umfasst als eine hintere Wärmespeichervorrichtung (100) aus den hintereinander angeordneten Wärmespeichervorrichtungen (100).
9. Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerks zum Erzeugen von elektrischer Energie, umfassend die folgenden Schritte:
 - Umwandeln von elektrischer Energie in Wärmeenergie mit einem elektrischen Heizer (10) einer Wärmespeichereinheit (1) von mindestens einer Wärmespeichervorrichtung (100),
 - Aufnehmen und Speichern von Wärmeenergie des elektrischen Heizers (10) mit mindestens einem Wärmespeicherkörper (30, 31) der Wärmespeichereinheit (1),
 - Übertragen von Wärmeenergie des mindestens einen Wärmespeicherkörpers (30, 31) auf ein Wärmespeicherfluid mit Hilfe eines Wärme-

tauschers (50), welcher Wärmetauscherrohre (51) zum Leiten eines Wärmespeicherfluids umfasst,

- Antreiben mindestens einer ersten Turbine (120),
- Erzeugen von elektrischer Energie aus einer von der Turbine (120) bereitgestellten Drehbewegung mit Hilfe eines Generators (123), der mit der ersten Turbine (120) gekoppelt ist,
- Leiten des Wärmespeicherfluids entlang einem Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130), welcher mindestens einen ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) umfasst,
- Übertragen von Wärmeenergie mit Hilfe des mindestens ersten Fluidkreislauf-Wärmetauschers (131) vom Wärmespeicherfluid auf ein Arbeitsfluid,
- Leiten des Arbeitsfluids in einem Arbeitsfluid-Kreislauf (140) zu der ersten Turbine (120) zum Antreiben der ersten Turbine (120),

dadurch gekennzeichnet,

dass eine zweite Turbine (121) und ein zweiter Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) vorhanden sind,

dass die zweite Turbine (121) ebenfalls den Generator (123) oder einen zweiten Generator antreibt,

dass im Arbeitsfluid-Kreislauf (140) die erste Turbine (120) stromabwärts vom ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) angeordnet ist,

dass der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) stromabwärts von der ersten Turbine (120) angeordnet ist,

dass die zweite Turbine (121) stromabwärts vom zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) angeordnet ist,

dass der erste und der zweite Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131, 132) im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) in zwei zueinander parallelen Leitungen (135, 136) angeordnet sind,

dass eine Steuereinrichtung im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) vorhanden ist, welche eine Aufteilung von Wärmespeicherfluid zu dem ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131) und dem zweiten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (132) variabel einstellt.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

gekennzeichnet durch zumindest die folgenden Schritte:

- Betreiben einer Arbeitsfluid-Pumpe (145), um den Druck des Arbeitsfluids im Arbeitsfluid-Kreislauf (140) zu erhöhen,
- Betreiben einer Wärmespeicherfluid-Pumpe (125), um den Druck des Arbeitsfluids im Wärmespeicherfluid-Kreislauf (130) zu erhöhen,
- wobei die Arbeitsfluid-Pumpe (145) und die Wärmespeicherfluid-Pumpe (125) so betrieben

werden, dass der Druck des Arbeitsfluids größer ist als der Druck des Wärmespeicherfluids.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,

gekennzeichnet durch zumindest die folgenden Schritte:

- Leiten des Wärmespeicherfluids in flüssiger Form zu und **durch** die mindestens eine Wärmespeichervorrichtung (100), wobei das Wärmespeicherfluid nicht verdampft wird,
- Leiten des Arbeitsfluids **durch** den ersten Fluidkreislauf-Wärmetauscher (131), wobei das Arbeitsfluid verdampft wird.

Claims

1. A power plant for generating electrical energy, comprising:

- at least one heat storage device (100) for storing electrical energy as heat energy, including at least one heat storage unit (1), wherein each heat storage unit (1) comprises:

- an electrical heater (10) for converting electrical energy into heat energy;
- at least one heat storage body (30, 31) for receiving and storing heat energy from the electrical heater (10);
- a heat exchanger (50) for receiving heat energy from the heat storage body (30, 31), wherein the heat exchanger (50) comprises heat exchanger tubes (51) for guiding a heat storage fluid;

- at least a first turbine (120);
- a generator (123) coupled with the first turbine (120) for generating electrical energy from a rotational movement provided by the turbine;
- a heat storage fluid circuit (130) which is connected with the heat exchanger (50) or the heat exchangers (50);
- a working fluid circuit (140) which is connected with the first turbine (120);
- at least one first fluid circuit heat exchanger (131) for transferring heat from the heat storage fluid to a working fluid in the working fluid circuit (140);

characterized in that

a second turbine (121) and a second fluid circuit heat exchanger (132) are provided; the second turbine (121) is also coupled with the generator (123) or a second generator to drive the generator (123) or the second generator; the first turbine (120) is arranged downstream of the

first fluid circuit heat exchanger (131) in the working fluid circuit (140);
 the second fluid circuit heat exchanger (132) is arranged downstream of the first turbine (120);
 the second turbine (121) is arranged downstream of the second fluid circuit heat exchanger (132);
 the first and the second fluid circuit heat exchangers (131, 132) are arranged in the heat storage fluid circuit (130) in two lines (135, 136) which are parallel to each other;
 a control device is provided in the heat storage fluid circuit (130) and configured to variably set distribution of the heat storage fluid to the first fluid circuit heat exchanger (131) and the second fluid circuit heat exchanger (132).

2. Power plant according to claim 1,
characterized in that
 a first bypass along the first fluid circuit heat exchanger (131) is provided in the working fluid circuit (140) to guide working fluid to the first turbine (120), bypassing the first fluid circuit heat exchanger (131), and
 a first bypass control device is provided and configured to variably set distribution of the working fluid to the first fluid circuit heat exchanger (131) and to the first bypass.
3. Power plant according to claim 1 or 2,
characterized in that
 a second bypass along the second fluid circuit heat exchanger (132) is provided in the working fluid circuit (140) to guide working fluid to the second turbine (121), bypassing the second fluid circuit heat exchanger (132), and
 a second bypass control device is provided and configured to variably set distribution of the working fluid to the second fluid circuit heat exchanger (131) and to the second bypass.
4. Power plant according to one of the claims 1 to 3,
characterized in that
 an electrical control unit is provided and configured to variably set whether momentarily more electrical energy is taken from an external power grid through the electrical heater (10) or the electrical heaters or whether more electrical energy is output to the external power grid by the generator (123).
5. Power plant according to one of the claims 1 to 4,
characterized in that
 a plurality of heat storage devices (100) are provided of which at least some are arranged parallel to each other in the heat storage fluid circuit (130).
6. Power plant according to one of the claims 1 to 5,
characterized in that
 a plurality of heat storage devices (100) are provided

of which at least some are serially arranged in the heat storage fluid circuit (130).

7. Power plant according to claim 6,
characterized in that
 a control device is provided and controlled to operate an anterior heat storage device (100) over a larger temperature range than a posterior heat storage device (100) of the serially arranged heat storage devices (100).
8. Power plant according to claim 6 or 7,
characterized in that
 an anterior heat storage device (100) of the serially arranged heat storage devices (100) comprises more heat storage units (1) than a posterior heat storage device (100) of the serially arranged heat storage devices (100).
9. Method for operating a power plant to generate electrical energy, the method comprising the following steps:
 - converting electrical energy into heat energy with an electrical heater (10) of a heat storage unit (1) of at least one heat storage device (100);
 - receiving and storing heat energy of the electrical heater (10) with at least one heat storage body (30, 31) of the heat storage unit (1);
 - transferring heat energy of the at least one heat storage body (30, 31) to a heat storage fluid by a heat exchanger (50) which comprises heat exchanger tubes (51) for guiding a heat storage fluid;
 - driving at least a first turbine (120);
 - generating electrical energy from a rotational movement provided by the turbine (120) by means of a generator (123) coupled with the first turbine (120);
 - guiding the heat storage fluid along a heat storage fluid circuit (130) which comprises at least a first fluid circuit heat exchanger (131);
 - transferring heat energy from the heat storage fluid to a working fluid, by the at least first fluid circuit heat exchanger (131);
 - guiding the working fluid in a working fluid circuit (140) to the first turbine (120) for driving the first turbine (120);

characterized in that

a second turbine (121) and a second fluid circuit heat exchanger (132) are provided;
 the second turbine (121) also drives the generator (123) or a second generator; in the working fluid circuit (140), the first turbine (120) is arranged downstream of the first fluid circuit heat exchanger (131); the second fluid circuit heat exchanger (132) is arranged downstream of the first turbine (120);

the second turbine (121) is arranged downstream of the second fluid circuit heat exchanger (132); the first and the second fluid circuit heat exchangers (131, 132) are arranged in the heat storage fluid circuit (130) in two lines (135, 136) which are parallel to each other; a control device is provided in the heat storage fluid circuit (130), wherein the control device variably sets in which parts heat storage fluid is distributed to the first fluid circuit heat exchanger (131) and the second fluid circuit heat exchanger (132).

10. Method according to claim 9, characterized by at least the following steps:

- operating a working fluid pump (145) to pressurize the working fluid in the working fluid circuit (140);
- operating a heat storage fluid pump (125) to pressurize the working fluid in the heat storage fluid circuit (130);
- wherein the working fluid pump (145) and the heat storage fluid pump (125) are operated such that the pressure of the working fluid is higher than the pressure of the heat storage fluid.

11. Method according to claim 9 or 10, characterized by at least the following steps:

- guiding the heat storage fluid in liquid form to and through the at least one heat storage device (100), wherein the heat storage fluid is not vaporized;
- guiding the working fluid through the first fluid circuit heat exchanger (131), wherein the working fluid is vaporized.

Revendications

1. Centrale électrique pour générer de l'énergie électrique, comprenant :

- au moins un dispositif de stockage de chaleur (100) pour stocker de l'énergie électrique en tant qu'énergie thermique, incluant au moins une unité de stockage de chaleur (1), tandis que chaque unité de stockage de chaleur (1) comprend :
 - un chauffage électrique (10) pour convertir de l'énergie électrique en énergie thermique,
 - au moins un corps de stockage de chaleur (30, 31) pour recevoir et stocker de l'énergie thermique du chauffage électrique (10),
 - un échangeur de chaleur (50) pour recevoir de l'énergie thermique du corps de stockage de chaleur (30, 31), tandis que

l'échangeur de chaleur (50) comprend des conduites d'échangeur de chaleur (51) pour guider un fluide de stockage de chaleur,

- au moins une première turbine (120),
- un générateur (123) couplé à la première turbine (120) pour générer de l'énergie électrique à partir d'un mouvement rotatif fourni par la turbine,
- un circuit de fluide de stockage de chaleur (130) qui est connecté à l'échangeur de chaleur (50) ou aux échangeurs de chaleur (50),
- un circuit de fluide de travail (140) qui est connecté à la première turbine (120),
- au moins un premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) pour transférer de la chaleur à partir du fluide de stockage de chaleur vers un fluide de travail dans le circuit de fluide de travail (140),

caractérisée en ce que

une deuxième turbine (121) et un deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132) sont fournis, la deuxième turbine (121) est également couplée au générateur (123) ou à un deuxième générateur pour actionner le générateur (123) ou le deuxième générateur, la première turbine (120) est agencée en aval du premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) dans le circuit de fluide de travail (140), le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132) est agencé en aval de la première turbine (120), la deuxième turbine (121) est agencée en aval du deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132), les premier et deuxième échangeurs de chaleur de circuit de fluide (131, 132) sont agencés dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130) en deux lignes (135, 136) qui sont parallèles entre elles, un appareil de contrôle est fourni dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130) et configuré pour régler de manière variable une distribution du fluide de stockage de chaleur vers le premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) et le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132).

2. Centrale électrique selon la revendication 1 caractérisée en ce que

une première dérivation le long du premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) est fournie dans le circuit de fluide de travail (140) pour guider le fluide de travail vers la première turbine (120), en contournant le premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131), et un premier appareil de contrôle de dérivation est fourni et configuré pour régler de manière variable une distribution du fluide de travail vers le premier

échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) et vers la première dérivation.

3. Centrale électrique selon la revendication 1 ou 2
caractérisée en ce que 5
une deuxième dérivation le long du deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132) est fournie dans le circuit de fluide de travail (140) pour guider le fluide de travail vers la deuxième turbine (121), en contournant le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132), et 10
un deuxième appareil de contrôle de dérivation est fourni et configuré pour régler de manière variable la distribution du fluide de travail vers le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) et vers la deuxième dérivation. 15

4. Centrale électrique selon une des revendications 1 à 3
caractérisée en ce que 20
une unité de contrôle électrique est fournie et configurée pour régler de manière variable si, momentanément, plus d'énergie électrique est prise d'un réseau électrique externe par le biais du chauffage électrique (10) ou des chauffages électriques ou bien si plus d'énergie électrique est émise vers le réseau électrique externe par le générateur (123). 25

5. Centrale électrique selon une des revendications 1 à 4
caractérisée en ce que 30
plusieurs dispositifs de stockage de chaleur (100) sont fournis, parmi lesquels au moins certains sont agencés parallèlement entre eux dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130). 35

6. Centrale électrique selon une des revendications 1 à 5
caractérisée en ce que 40
plusieurs dispositifs de stockage de chaleur (100) sont fournis, parmi lesquels au moins certains sont agencés les uns après les autres dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130).

7. Centrale électrique selon la revendication 6
caractérisée en ce que 45
un dispositif de contrôle est fourni et contrôlé pour faire fonctionner, parmi les dispositifs de stockage de chaleur agencés les uns derrière les autres (100), un dispositif de stockage de chaleur avant (100) sur une fourchette de températures plus grande qu'un dispositif de stockage de chaleur arrière (100). 50

8. Centrale électrique selon la revendication 6 ou 7
caractérisée en ce que 55
un appareil de stockage de chaleur avant (100) parmi les dispositifs de stockage de chaleur agencés les uns derrière les autres (100) comprend plus

d'unités de stockage de chaleur (1) qu'un dispositif de stockage de chaleur arrière (100) parmi les dispositifs de stockage de chaleur agencés les uns derrière les autres (100).

9. Procédé pour faire fonctionner une centrale électrique pour générer de l'énergie électrique, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- convertir de l'énergie électrique en énergie thermique au moyen d'un chauffage électrique (10) d'une unité de stockage de chaleur (1) d'au moins un dispositif de stockage de chaleur (100),
- recevoir et stocker de l'énergie thermique du chauffage électrique (10) avec un moins un corps de stockage de chaleur (30, 31) de l'unité de stockage de chaleur (1),
- transférer de l'énergie thermique d'au moins un corps de stockage de chaleur (30, 31) à un fluide de stockage de chaleur par le biais d'un échangeur de chaleur (50), lequel comprend des conduites d'échangeur de chaleur (51) pour guider un fluide de stockage de chaleur,
- entraîner au moins une première turbine (120),
- générer de l'énergie électrique à partir d'un mouvement rotatif fourni par la turbine (120) au moyen d'un générateur (123) couplé à la première turbine (120),
- guider le fluide de stockage de chaleur le long d'un circuit de fluide de stockage de chaleur (130) qui comprend au moins un premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131),
- transférer de l'énergie thermique du fluide de stockage de chaleur à un fluide de travail, par le biais du au moins premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131),
- guider le fluide de travail dans un circuit de fluide de travail (140) vers la première turbine (120) pour faire fonctionner la première turbine (120),

caractérisé en ce que

une deuxième turbine (121) et un deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132) sont fournis, la deuxième turbine (121) entraîne également le générateur (123) ou un deuxième générateur, dans le circuit de fluide de travail (140), la première turbine (120) est agencée en aval du premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131), le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132) est agencé en aval de la première turbine (120), la deuxième turbine (121) est agencée en aval du deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132), les premier et deuxième échangeurs de chaleur de circuit de fluide (131, 132) sont agencés dans le cir-

cuit de fluide de stockage de chaleur (130) en deux lignes (135, 136) qui sont parallèles entre elles, un dispositif de commande est prévu dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130), le dispositif de commande réglant de manière variable une distribution de fluide de stockage de chaleur vers le premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131) et vers le deuxième échangeur de chaleur de circuit de fluide (132).

5

10

10. Procédé selon la revendication 9

caractérisé par au moins les étapes suivantes :

- faire fonctionner une pompe de fluide de travail (145) pour augmenter la pression du fluide de travail dans le circuit de fluide de travail (140),
- faire fonctionner une pompe à fluide de stockage de chaleur (125) pour augmenter la pression du fluide de travail dans le circuit de fluide de stockage de chaleur (130),
- tandis que la pompe à fluide de travail (145) et la pompe à fluide de stockage de chaleur (125) sont mises en fonctionnement de telle sorte que la pression du fluide de travail est supérieure à la pression du fluide de stockage de chaleur.

15

20

25

11. Procédé selon la revendication 9 ou 10

caractérisé par au moins l'une des étapes suivantes :

- guider le fluide de stockage de chaleur sous forme liquide vers et au travers de l'au moins un dispositif de stockage de chaleur (100), tandis que le fluide de stockage de chaleur n'est pas évaporé,
- guider le fluide de travail au travers du premier échangeur de chaleur de circuit de fluide (131), tandis que le fluide de travail est évaporé.

30

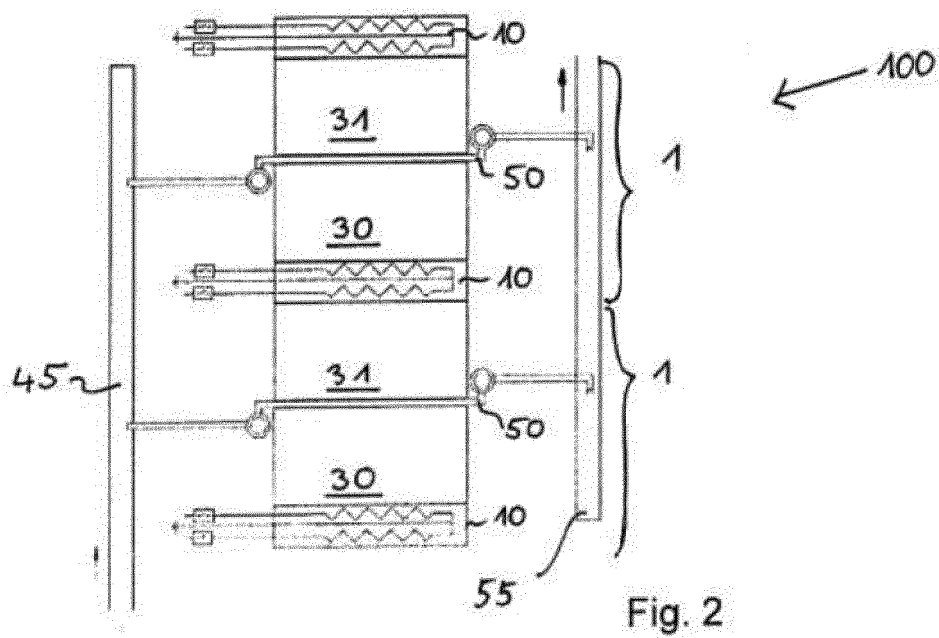
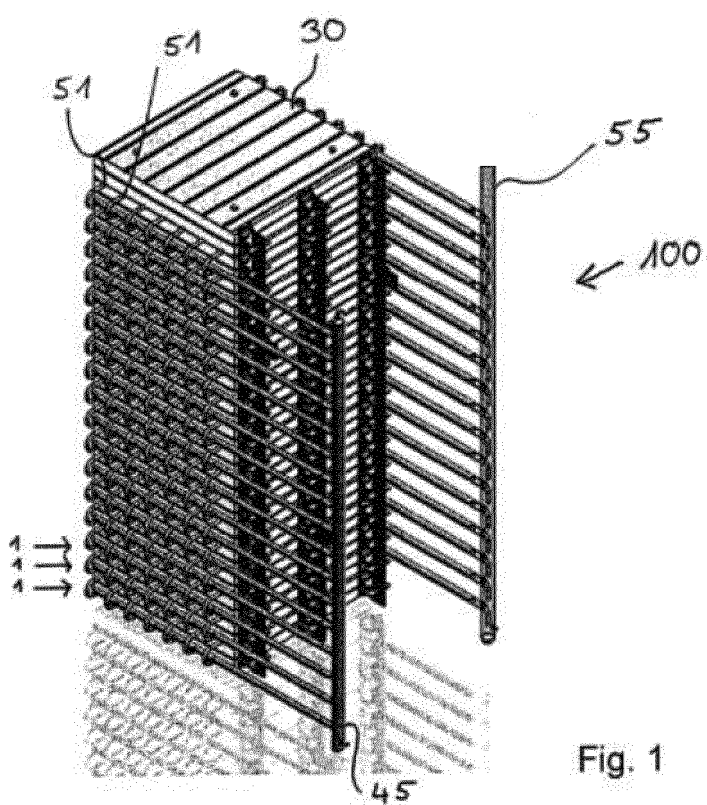
35

40

45

50

55



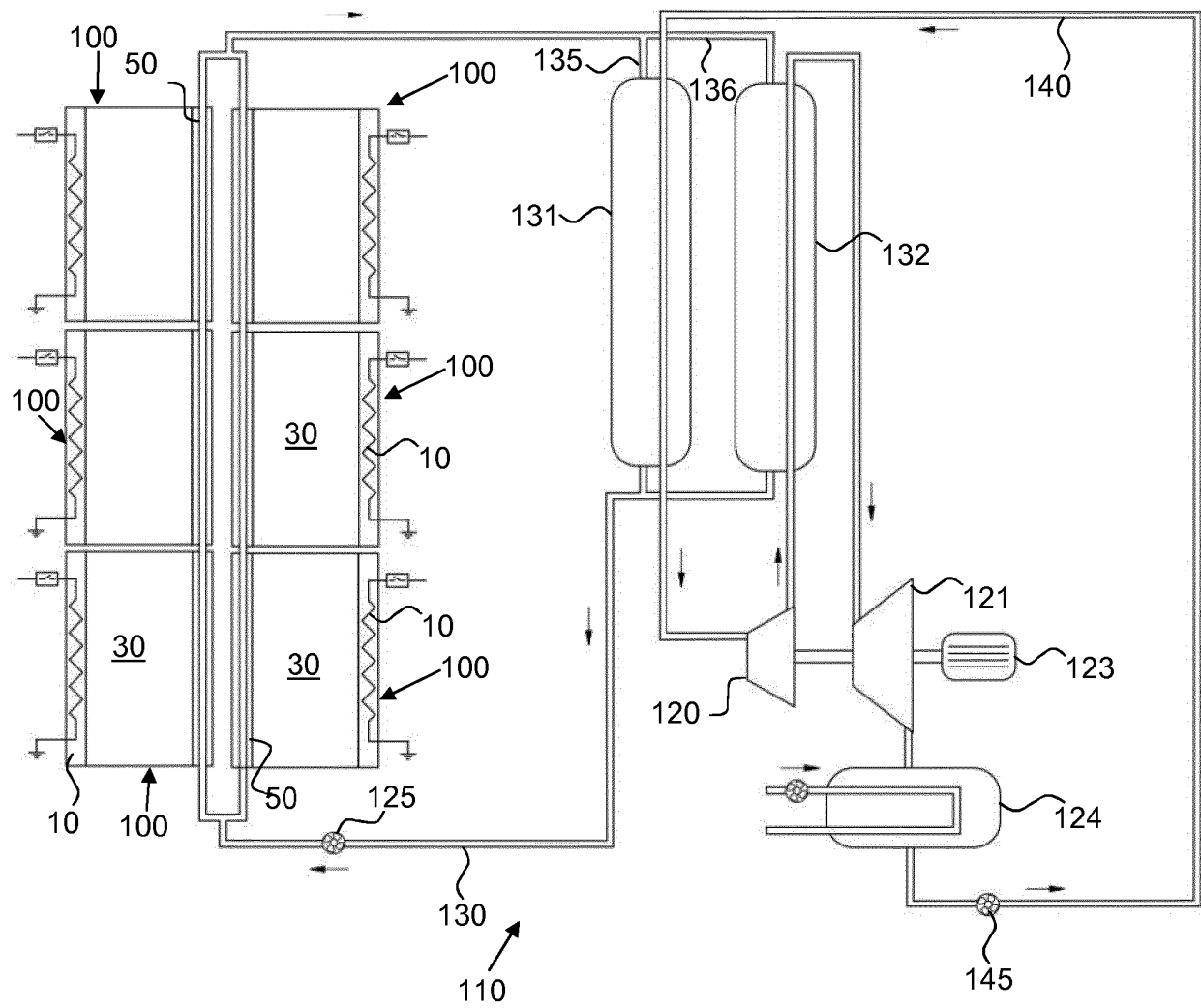


Fig. 3

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 Patentdokumente

- EP 14187132 A [0004]
- EP 15183855 A [0004]
- EP 15183857 A [0004]
- DE 102012103621 A1 [0013]
- EP 2101051 A1 [0013]
- WO 2012000002 A2 [0013]
- DE 102013016077 A1 [0013]