



(11) **EP 4 431 802 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.09.2024 Patentblatt 2024/38

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F22B 1/06^(2006.01) F22B 1/02^(2006.01)
F01K 13/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23162209.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F22B 1/06; F01K 13/00; F22B 1/028

(22) Anmeldetag: **16.03.2023**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Currenta GmbH & Co. OHG**
51373 Leverkusen (DE)

(72) Erfinder: **FRANCK, Rüdiger**
51373 Leverkusen (DE)

(74) Vertreter: **Michalski Hüttermann & Partner**
Patentanwälte mbB
Kaistraße 16A
40221 Düsseldorf (DE)

(54) **DAMPFERZEUGER UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES DAMPFERZEUGERS**

(57) Es ist ein Dampferzeuger (10) zur Erzeugung von überhitzten Hochdruckdampf vorgesehen mit einem Vorlagetank (14) zur Speicherung eines elektrisch leitfähigen kalten Flüssigsalzes, einer Heizeinrichtung (18) zum Aufheizen des kalten Flüssigsalzes, wobei die Heizeinrichtung (18) über das Flüssigsalz elektrisch miteinander verbindbare und von einer Wechselspannungsquelle betreibbare Elektroden (20) aufweist, einem Speichertank (24) zu Speicherung des von der Heizeinrichtung (18) aufgeheizten warmen Flüssigsalzes und einem in einem Strömungspfad des Flüssigsalzes von dem Speichertank (24) zum Vorlagetank (14) angeordneten

Wärmetauscher (28) zum Vorwärmen, Verdampfen und/oder Überhitzen einer Flüssigkeit, insbesondere Wasser, innerhalb des Wärmetauschers (28) auf ein oberhalb einer Siedetemperatur der Flüssigkeit liegendes Hochtemperaturniveau. Durch die zeitliche Entkopplung des Aufheizens des Flüssigsalzes und der Nutzung des Flüssigsalzes in dem Wärmetauscher (28) zur Erzeugung überhitzten Dampfes kann bei einem kostengünstigen Energieeinsatz ein hochenergetischer Dampf erzeugt werden, so dass eine kostengünstige Erzeugung hochenergetischen Dampfes ermöglicht ist.

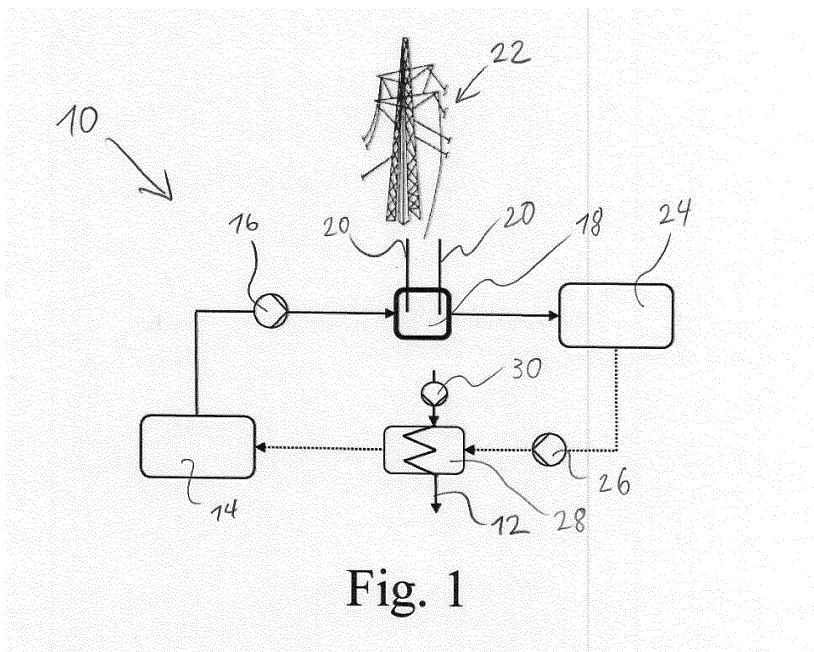


Fig. 1

EP 4 431 802 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Dampferzeuger sowie ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Dampferzeugers, mit dessen Hilfe hochenergetischer Dampf kostengünstig erzeugt werden kann.

[0002] Aus WO 2019/94921 A1 ist ein Solarwärmekraftwerk bekannt, bei dem ein Flüssigsalz auch mit Hilfe von mit Wechselspannung betriebenen Elektroden erwärmt werden kann. Das erwärmte Flüssigsalz wird einem Dampferzeuger zugeführt, der mit Hilfe des erzeugten Dampfes eine Turbine zur Erzeugung elektrischer Energie für ein Stromnetz speist.

[0003] Es besteht ein ständiges Bedürfnis Dampf möglichst kostengünstig zu erzeugen.

[0004] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch einen Dampferzeuger mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung angegeben, die jeweils einzeln oder in Kombination einen Aspekt der Erfindung darstellen können. Wenn ein Merkmal in Kombination mit einem anderen Merkmal dargestellt wird, dient dies nur der vereinfachten Darstellung der Erfindung und soll keinesfalls bedeuten, dass dieses Merkmal nicht auch ohne das andere Merkmal eine Weiterbildung der Erfindung sein kann.

[0005] Eine Ausführungsform betrifft einen Dampferzeuger zur Erzeugung von überhitzten Hochdruckdampf, mit einem Vorlagetank zur Speicherung eines elektrisch leitfähigen kalten Flüssigsalzes, einer Heizeinrichtung zum Aufheizen des kalten Flüssigsalzes, wobei die Heizeinrichtung über das Flüssigsalz elektrisch miteinander verbindbare und von einer Wechselspannungsquelle oder Drehstromquelle betreibbare Elektroden aufweist, einem Speichertank zur Speicherung des von der Heizeinrichtung aufgeheizten warmen Flüssigsalzes und einem in einem Strömungspfad des Flüssigsalzes von dem Speichertank zum Vorlagetank angeordneten Wärmetauscher zum Vorwärmen, Verdampfen und/oder Überhitzen einer Flüssigkeit, insbesondere Wasser, innerhalb des Wärmetauschers auf ein oberhalb einer Siedetemperatur der Flüssigkeit liegendes Hochtemperaturniveau.

[0006] Das Flüssigsalz kann beispielsweise als Schmelze eines Salzes oder als Schmelze einer Salzmischung aus mindestens zwei unterschiedlichen Salzen vorliegen, so dass das Flüssigsalz aufgrund des geschmolzenen Zustands elektrisch leitfähig ist. Vorzugsweise ist das Flüssigsalz im Wesentlichen wasserfrei, das heißt ein Wasseranteil in Gewichts-% bezogen auf die Gesamtmasse des Flüssigsalzes ist kleiner als 1%, insbesondere kleiner als 0,1%. Im Gegensatz zu wässrigen Salzlösungen steigt der Dampfdruck des Flüssigsalzes bei Aufheizung auf hohe Temperaturen unterhalb der Zersetzungstemperatur quasi nicht an, was die Durchführung des Verfahrens in drucklosen Apparaten ermöglicht. Bei einem Stromfluss durch das Flüssigsalz

wirkt das Flüssigsalz als ohmschen Widerstand beziehungsweise als Impedanz, wodurch das Flüssigsalz direkt aufgeheizt wird. Im Gegensatz zu einem indirekten Aufheizen des Flüssigsalzes, bei dem das Flüssigsalz durch ein vom Flüssigsalz elektrisch isoliertes und insbesondere durch elektrische Energie betriebenes Heizelement indirekt aufgeheizt wird, sind aufgrund hoher Ströme bei geringer Spannung unnötige Verlustleistungen und Zeitverzögerungen vermieden. Die Heizleistung ist dadurch abhängig von der angelegten Spannung, der Leitfähigkeit des Flüssigsalzes sowie der Ausbildung und Anordnung der Elektroden. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit durch konstruktive Festlegungen die anlegbare Spannung zum Betrieb der Elektroden zu beeinflussen, da das Flüssigsalz Teil des elektrischen Stromkreises ist und eine elektrische Verbindung der mindestens zwei Elektroden herstellt.

[0007] Das in der Heizeinrichtung aufgeheizte Flüssigsalz kann direkt in den Wärmetauscher geleitet werden oder in dem Speichertank zwischengespeichert werden, so dass es möglich ist, quasi zeitgleich Hochdruckdampf zu erzeugen oder zeitversetzt das in dem Speichertank gespeicherte Flüssigsalz in dem Wärmetauscher zur Dampferzeugung zu verwenden, wenn gerade Dampf benötigt wird und/oder eine aus einer anderen Energiequelle stammende Wärme zur Dampferzeugung teurer ist. Wenn das Flüssigsalz nicht permanent, sondern nur zeitweise aus dem Speichertank abgefordert wird, ist es möglich die Heizeinrichtung kleiner zu dimensionieren und über einen längeren Zeitraum zu betreiben, als der Zeitraum, über den der Wärmetauscher aus dem Speichertank gespeist wird. Umgekehrt kann die Heizeinrichtung für das Flüssigsalz mit hoher Leistung auch kürzer und der Dampferzeuger länger betrieben werden. Die Kosten für die Dampferzeugung können dadurch gering gehalten werden. Durch die zeitliche Entkoppelung des Aufheizens des Flüssigsalzes und der Nutzung des Flüssigsalzes in dem Wärmetauscher zur Erzeugung überhitzten Dampfes kann bei einem kostengünstigen Energieeinsatz ein hochenergetischer Dampf erzeugt werden, so dass eine kostengünstige Erzeugung hochenergetischen Dampfes ermöglicht ist.

[0008] Der Wärmetauscher kann insbesondere diskontinuierlich aus dem Speichertank mit warmen Flüssigsalz beaufschlagt werden, so dass der Dampferzeuger mit Hilfe des Speichertanks eine zusätzliche Energiespeicherfunktion bereitstellen kann. Dies ermöglicht es in Zeiträumen, in denen das Aufheizen des kalten Flüssigsalzes in der Heizeinrichtung kostengünstig möglich ist, immer mehr warmes Flüssigsalz in dem Speichertank zu speichern, so dass genügend warmes Flüssigsalz für den Wärmetauscher in Zeiträumen zur Verfügung steht, in denen das Aufheizen des kalten Flüssigsalzes in der Heizeinrichtung nicht so kostengünstig möglich ist. Dadurch ist es möglich, die Heizeinrichtung in kostengünstigen Zeiträumen zu betreiben und in weniger kostengünstigen oder kostenintensiven Zeiträumen nicht zu betreiben, ohne dass die ausreichende Er-

zeugung von Dampf in dem Wärmetauscher beeinträchtigt wäre. Im Vergleich zu einem rein kontinuierlichen permanenten Betrieb der Heizeinrichtung und des Wärmetauschers kann die Heizeinrichtung überdimensioniert sein, wobei die überdimensionierte Heizeinrichtung nicht zu höheren, sondern geringeren durchschnittlichen Betriebskosten führt. Hierbei wird die Erkenntnis ausgenutzt, dass in einem öffentlichen Stromnetz immer wieder Diskrepanzen zwischen der angebotenen und der abgenommenen elektrischen Leistung auftreten, so dass es möglich ist bei einem Überangebot der elektrischen Leistung mit Hilfe der Heizeinrichtung ansonsten nicht benötigte elektrische Leistung abzunehmen und bei einem Unterangebot die Abnahme der elektrischen Leistung einzustellen oder sogar mit Hilfe des erzeugten Dampfes generierte elektrische Leistung in das Stromnetz zurückzuspeisen. Dadurch kann die Frequenz des Stromnetzes auch bei plötzlichen Schwankungen vergleichmässig und die Netzzeit besser konstant gehalten werden.

[0009] Ein Überangebot elektrischer Leistung im Stromnetz ist an einer im Vergleich zu einer Nennfrequenz, beispielsweise 50Hz oder 60Hz, höheren tatsächlichen vom Stromnetz zur Verfügung gestellten Netzfrequenz zu erkennen. Ein Unterangebot elektrischer Leistung im Stromnetz ist an einer im Vergleich zu der Nennfrequenz niedrigeren tatsächlichen vom Stromnetz zur Verfügung gestellten Netzfrequenz zu erkennen. Insbesondere wenn die tatsächliche Netzfrequenz einen zulässigen Frequenzkorridor definierende vorgegebene obere und/oder untere Schwellwerte überschreitet, werden Eingriffe in das Angebot der elektrischen Leistung im Stromnetz veranlasst, bei denen der Dampferzeuger einen Beitrag leisten kann. Insbesondere bei der Dampfversorgung einer industriellen Großanlage können die mindestens einen Dampferzeuger einen spürbaren Einfluss auf die regionale oder nationale Stromversorgung haben.

[0010] Die Heizeinrichtung kann insbesondere mehrere jeweils parallel geschaltete Elektroden aufweisen, so dass eine entsprechend hohe elektrische Leistung über eine Mehrzahl an Elektroden in das Flüssigsalz eingeleitet und zum Aufheizen des Flüssigsalzes verwendet werden kann. Dadurch kann in einem besonders großen Volumen der Heizeinrichtung ein elektrischer Stromfluss erzeugt werden, so dass auch ein entsprechend großes Volumen des in der Heizeinrichtung befindlichen Flüssigsalzes gleichzeitig aufgeheizt werden kann.

[0011] Das Flüssigsalz kann auf eine vergleichsweise hohe Temperatur aufgeheizt werden, die oberhalb der Verdampfungstemperatur vieler für die Erzeugung von Dampf verwendeten Flüssigkeiten, insbesondere Wasser, liegt. Anstatt die Flüssigkeit zu Sattdampf zu verdampfen, ist das warme Flüssigsalz in der Lage, den Dampf zu überhitzen, so dass die gesamte dem Wärmetauscher zugeführte Flüssigkeit nicht nur vollständig verdampft, sondern der Dampf selber darüber hinaus weiter erwärmt wird. Der den Wärmetauscher verlassende Dampf kann eine Temperatur aufweisen, die signifikant

oberhalb der Siedetemperatur liegt. Zum Beispiel kann dadurch eine Kondensation von Flüssigkeit infolge beim Transport des Dampfes entstehender Wärmeverluste vermieden werden. Insbesondere ist es möglich, den Dampf direkt ohne weitere Zwischenstation für die Überhitzung, beispielsweise einen Dampfüberhitzer, auf ein Temperatur- und Druckniveau zu bringen, wie es in Industrieanlagen benötigt wird. Beispielsweise kann der Dampf mit Hilfe des warmen Flüssigsalzes in dem Wärmetauscher soweit überhitzt werden, dass der Dampf bestimmte Vorgaben und/oder Normen für einen energiereichen Heißdampf und/oder Hochdruckdampf entspricht. Der apparative Aufwand und die damit verbundenen Kosten zur Bereitstellung eines hochenergetischen Dampfes können dadurch gering gehalten werden.

[0012] Das Flüssigsalz kann insbesondere im Kreis gefördert werden. Das kalte Flüssigsalz kann von dem Vorlagetank über die Heizeinrichtung in den Speichertank und von dem Speichertank über den Wärmetauscher wieder zurück in den Vorlagetank gefördert werden. Das Flüssigsalz ist beispielsweise ein Solarsalz oder eine eutektische Mischung aus NaNO_3 und KNO_3 . Das Flüssigsalz kann bei einer hohen Wärmekapazität in einem großen Temperaturbereich flüssig und thermisch stabil bleiben.

[0013] Insbesondere sind ein Massestrom der Flüssigkeit und eine Wärmemenge des warmen Flüssigsalzes bei der Temperatur am Ausgang des Wärmetauschers derart aneinander angepasst, dass für einen Druck p des den Wärmetauscher verlassenden Dampfes $5 \text{ bar} \leq p \leq 200 \text{ bar}$, insbesondere $15 \text{ bar} \leq p \leq 120 \text{ bar}$ und vorzugsweise $30 \text{ bar} \leq p \leq 60 \text{ bar}$ und/oder bei einem Sattdampfdruck p_s der Flüssigkeit im Wärmetauscher $1,5 \leq p_s/p \leq 20,0$, insbesondere $2,0 \leq p_s/p \leq 10,0$ und vorzugsweise $3,0 \leq p_s/p \leq 5,0$ gilt. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Flüssigsalzes und der hohen Temperatur des Flüssigsalzes ist es bei einer vertretbaren Baugröße des Wärmetauschers möglich den bereits verdampften Dampf weiter aufzuheizen. Der überhitzte Dampf kann durch den Wärmeeintrag des Flüssigsalzes in dem Wärmetauscher sehr trocken sein und dadurch auf ein sehr hohes Temperaturniveau kostengünstig überhitzt werden.

[0014] Vorzugsweise ist die Heizeinrichtung eingerichtet, das Flüssigsalz auf eine Temperatur T oberhalb einer vorgesehenen Verdampfungstemperatur der Flüssigkeit aufzuheizen, wobei insbesondere $100^\circ\text{C} \leq T \leq 560^\circ\text{C}$, vorzugsweise $170^\circ\text{C} \leq T \leq 450^\circ\text{C}$ und besonders bevorzugt $250^\circ\text{C} \leq T \leq 350^\circ\text{C}$ gilt. Durch das Aufheizen der Flüssigkeit auf eine Temperatur oberhalb der dem Druck entsprechenden vorgesehenen Verdampfungstemperatur kann sichergestellt werden, dass der Dampf als trockener Heißdampf vorliegt.

[0015] Besonders bevorzugt sind die Elektroden der Heizeinrichtung an einer auf Mittelspannung betriebenen Wechselspannungsquelle oder Drehstromquelle angeschlossen, wobei die Wechselspannungsquelle oder Drehstromquelle eine Mittelspannung U von $1 \text{ kV} \leq U \leq$

69 kV, insbesondere $10 \text{ kV} \leq U \leq 50 \text{ kV}$ und vorzugsweise $20 \text{ kV} \leq U \leq 30 \text{ kV}$ bereitstellt. Die Mittelspannung erlaubt einen hohen Energieeintrag in das Flüssigsalz bei geringen Strömen und weniger Umspannungen. Durch die Verwendung von Wechselspannung kann eine elektrolytische Zersetzung des Flüssigsalzes vermieden werden.

[0016] Insbesondere ist vorgesehen, dass das Flüssigsalz eine Salzschmelze ist. Durch die Verwendung von Wechselspannung kann eine elektrolytische Zersetzung vermieden werden.

[0017] Vorzugsweise sind die Elektroden aus einem Stromnetz betreibbar, wobei ein mit Hilfe des überhitzten Dampfes betreibbarer Generator zum Einspeisen erzeugter elektrischer Energie in das Stromnetz vorgesehen ist. Dies ermöglicht es bei einem Überangebot elektrischer Leistung mit Hilfe der Heizeinrichtung ansonsten nicht benötigte elektrische Leistung abzunehmen und bei einem Unterangebot die Abnahme der elektrischen Leistung einzustellen oder sogar mit Hilfe des erzeugten Dampfes generierte elektrische Leistung in das Stromnetz zurückzuspeisen. Dadurch kann das Stromnetz stabilisiert werden. Zudem ist es möglich bei einem Überangebot elektrischer Leistung diese kostengünstiger zu beziehen und bei einem Unterangebot eine entsprechend hohe Vergütung für die eingespeiste elektrische Leistung zu erhalten, wodurch die Gesamtkosten zur Erzeugung des überhitzten Dampfes weiter gesenkt werden können.

[0018] Besonders bevorzugt ist zwischen dem Speichertank und dem Wärmetauscher ein verschließbares Ventil vorgesehen. Insbesondere kann das Ventil auch Zwischenstellungen, vorzugsweise im Wesentlichen stufenlos, zwischen einer vollständig geschlossenen und einer vollständig geöffneten Stellung einnehmen. Dadurch kann der dem Wärmetauscher zugeführte Massenstrom des Flüssigsalzes bedarfsgerecht und vorzugsweise unabhängig von dem der Heizeinrichtung zugeführten und/oder von der Heizeinrichtung abgeführten Massenstrom des Flüssigsalzes eingestellt werden. Beispielsweise kann dadurch auf eine Änderung in dem abgeforderten Massenstrom überhitzten Dampfes reagiert werden.

[0019] Insbesondere sind in einem Strömungspfad von dem Vorlagetank zum Speichertank eine erste Pumpe zum Fördern des Flüssigsalzes und in einem Strömungspfad von dem Speichertank zum Vorlagetank eine zweite Pumpe zum Fördern des Flüssigsalzes vorgesehen. Dies ermöglicht es den Massenstrom des Flüssigsalzes von dem Vorlagetank zum Speichertank über die Heizeinrichtung und den Massenstrom des Flüssigsalzes von dem Speichertank zum Vorlagetank über den Wärmetauscher unabhängig voneinander einzustellen. Dadurch ist es möglich eine Speicherung von warmen Flüssigsalz in dem Speichertank je nach Situation wahlweise aufzubauen oder abzubauen.

[0020] Vorzugsweise ist eine mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie verbundene Entspan-

nungseinrichtung, insbesondere Turbine, und/oder ein Druck- und/oder Wärmeverbraucher vorgesehen, wobei die Entspannungseinrichtung und/oder der Druck- und/oder Wärmeverbraucher mit dem Wärmetauscher zur Abnahme von dem Wärmetauscher verlassenden überhitzten Dampf verbunden ist. Der Energieinhalt des überhitzten Dampfes in Form von Druck und/oder Wärme kann von entsprechenden Verbrauchern für verschiedene Zwecke genutzt werden, wobei der überhitzte Dampf auch nach dem Verbraucher auf dem niedrigeren Energieniveau immer noch als überhitzter Dampf vorliegen kann. Der Dampf kann dadurch sequentiell mehreren in Reihe geschalteten Verbrauchern zugeführt werden, die auf dem jeweiligen Energieniveau des überhitzten Dampfes betrieben werden können. Beispielsweise kann der überhitzte Dampf auf einem hohen Energieniveau erst der Turbine und auf dem niedrigeren Energieniveau nachfolgend dem Druck- und/oder Wärmeverbraucher zugeführt werden, um den nach der bei einem hohen Wirkungsgrad betriebenen Turbine noch verbliebenen Energieinhalt des überhitzten Dampfes weiter zu nutzen. Es ist aber auch möglich, dass der überhitzte Dampf auf einem hohen Energieniveau erst dem Druck- und/oder Wärmeverbraucher und auf dem niedrigeren Energieniveau nachfolgend Turbine zugeführt wird, um den noch verbliebenen Energieinhalt des überhitzten Dampfes noch zur Erzeugung elektrischer Energie zu verwerten. Alternativ können die Turbine und der Druck- und/oder Wärmeverbraucher parallel zueinander geschaltet sein, so dass der überhitzte Dampf auf dem selben Energieniveau zugeführt werden kann, wobei insbesondere eine Aufteilung des Massestroms auf die Turbine und den Druck- und/oder Wärmeverbraucher, vorzugsweise stufenlos, verändert werden kann, um auf sich ändernde Anforderungen schnell und leicht reagieren zu können.

[0021] Eine weitere Ausführungsform betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Dampferzeugers, der wie vorstehend beschrieben aus- und weitergebildet sein kann, bei dem in einem ersten Zeitraum nur das Flüssigsalz aufgeheizt wird, während ein Verdampfen der Flüssigkeit unterbleibt und in einem zum ersten Zeitraum zeitlich versetzten zweiten Zeitraum nur ein Vorwärmen, Verdampfen und Überhitzen der Flüssigkeit erfolgt, während ein Aufheizen des Flüssigsalzes unterbleibt. Das Verfahren kann, insbesondere wie vorstehend anhand des Dampferzeugers erläutert, aus- und weitergebildet sein. Durch die zeitliche Entkoppelung des Aufheizens des Flüssigsalzes und der Nutzung des Flüssigsalzes in dem Wärmetauscher zur Erzeugung überhitzten Dampfes kann bei einem kostengünstigen Energieeinsatz ein hochenergetischer Dampf erzeugt werden, so dass eine kostengünstige Erzeugung hochenergetischen Dampfes ermöglicht ist.

[0022] In dem ersten Zeitraum wird lediglich durch das Aufheizen des kalten Flüssigsalzes auf ein höheres Energieniveau die Wärmemenge und der Energieinhalt des Speichertanks erhöht, indem die Masse des im Speichertank gespeicherten warmen Flüssigsalzes immer weiter

erhöht wird, ohne dass das warme Flüssigsalz zu diesem Zeitpunkt in dem Wärmetauscher benötigt wird. Insbesondere wenn im Stromnetz ein Überangebot vorliegt und/oder die Kosten für die den Elektroden der Heizeinrichtung zugeführten elektrischen Energie besonders kostengünstig sind, kann Energie kostengünstig zwischengespeichert werden. In dem zweiten Zeitraum wird lediglich das in dem Speichertank gespeicherte Flüssigsalz für das Verdampfen und Überhitzen der Flüssigkeit in dem Wärmetauscher verwendet, ohne dass gleichzeitig in der Heizeinrichtung kaltes Flüssigsalz aufgeheizt wird. Insbesondere wenn im Stromnetz ein Unterangebot vorliegt und/oder die Kosten für die den Elektroden der Heizeinrichtung zugeführten elektrischen Energie besonders hoch wären, kann im Speichertank zwischengespeicherte Energie genutzt werden, ohne dass mit hohen Gestehungskosten das für den Wärmetauscher benötigte warme Flüssigsalz in der Heizeinrichtung aus dem kalten Flüssigsalz erzeugt werden muss. Je nach Speicherinhalt des Speichertanks und/oder der Angebotssituation im Stromnetz können die Heizeinrichtung und der Wärmetauscher gleichzeitig oder weder die Heizeinrichtung noch der Wärmetauscher oder entweder die Heizeinrichtung oder der Wärmetauscher betrieben werden.

[0023] Besonders bevorzugt ist in dem ersten Zeitraum eine Belastung eines Stromnetzes durch elektrische Verbraucher geringer als in dem zweiten Zeitraum. Hierbei wird die Erkenntnis ausgenutzt, dass in einem öffentlichen Stromnetz immer wieder Diskrepanzen zwischen der angebotenen und der abgenommenen elektrischen Leistung auftreten, so dass es möglich ist bei einem Überangebot der elektrischen Leistung mit Hilfe der Heizeinrichtung ansonsten nicht benötigte elektrische Leistung abzunehmen und bei einem Unterangebot die Abnahme der elektrischen Leistung einzustellen oder sogar mit Hilfe des erzeugten Dampfes generierte elektrische Leistung in das Stromnetz zurückzuspeisen. Dadurch kann die Frequenz des Stromnetzes auch bei plötzlichen Schwankungen vergleichmässigt und die Netzzeitabweichung besser gering gehalten werden.

[0024] Insbesondere ist vorgesehen, dass ein den Wärmetauscher verlassender überhitzter Dampf einer Wärmenutzung, insbesondere in einem Druck- und/oder Wärmeverbraucher, zugeführt wird und der überhitzte Dampf stromabwärts der Wärmenutzung im überhitzten Zustand vorliegt. Eine Kondensation von Flüssigkeit in dem Druck- und/oder Wärmeverbraucher ist dadurch vermieden. Zudem kann der überhitzte Dampf auf dem nach dem Druck- und/oder Wärmeverbraucher vorliegenden niedrigeren Energieniveau gegebenenfalls weiterverwendet werden.

[0025] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass ein den Wärmetauscher verlassender überhitzter Dampf einer mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie verbundenen Entspannungseinrichtung, insbesondere Turbine, zugeführt wird und der überhitzte Dampf stromabwärts der Entspannungseinrichtung im überhitzten Zu-

stand vorliegt. Eine Kondensation von Flüssigkeit in der Turbine ist dadurch vermieden. Zudem kann die in dem Speichertank aus dem Stromnetz zwischengespeicherte Energie über das Verdampfen und Überhitzen der Flüssigkeit in dem Wärmetauscher und der Nutzung des überhitzten Dampfes in der Turbine verstromt und ins Stromnetz zurückgespeist werden. Das Stromnetz kann dadurch stabilisiert werden. Insbesondere ist es möglich über den Bedarf der Erzeugung von überhitztem Dampf für Druck- und/oder Wärmeverbraucher hinaus bei kostengünstigen Bezugspreisen warmes Flüssigsalz zu erzeugen und bei hohen Vergütungspreisen wieder ins Stromnetz einzuspeisen, um die Gesamtkosten für die Erzeugung des für Druck- und/oder Wärmeverbraucher benötigten überhitzten Dampf zu senken.

[0026] Besonders bevorzugt werden die Elektroden der Heizeinrichtung mit Wechselspannung betrieben. Durch die Verwendung von Wechselspannung kann eine elektrolytische Zersetzung der Salzschnmelze vermieden werden.

[0027] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele exemplarisch erläutert, wobei die nachfolgend dargestellten Merkmale sowohl jeweils einzeln als auch in Kombination einen Aspekt der Erfindung darstellen können. Es zeigen:

Fig. 1: ein schematisches Schaltbild eines Dampferzeugers und

Fig. 2: eine Wärme-Temperatur-Diagramm für den Dampferzeuger aus Fig. 1.

[0028] Der in Fig. 1 dargestellte Dampferzeuger 10 kann überhitzten Dampf 12 erzeugen, der beispielsweise für Druck- und/oder Wärmeverbraucher in einer Industrieanlage und/oder für eine Stromerzeugung in einer mit einem Generator verbundenen Turbine verwendet werden kann. Der Dampferzeuger 10 weist einen Vorlagentank 14 auf, in dem ein kaltes Flüssigsalz mit einer Temperatur von beispielsweise ca. 180°C enthalten ist. Das kalte Flüssigsalz kann mit Hilfe einer ersten Pumpe 16 einer Heizeinrichtung 18 zugeführt werden. Die Heizeinrichtung 18 weist zwei oder mehr Elektroden 20 auf, die aus einem Stromnetz 22 mit elektrischer Energie versorgt werden können. Die Elektroden 20 werden mit Wechselstrom auf einem Mittelspannungsniveau betrieben, wobei der Stromkreis zwischen den Elektroden durch das einen elektrischen Widerstand ausbildenden, aber elektrisch leitfähige Flüssigsalz geschlossen ist. Das Flüssigsalz kann dadurch direkt auf beispielsweise ca. 550°C aufgeheizt werden. Das die Heizeinrichtung 18 verlassende warme Flüssigsalz kann einem Speichertank 24 zugeführt und zwischengespeichert werden.

[0029] Wenn überhitzter Dampf 12 erzeugt werden soll, kann wahlweise mit Hilfe einer zweiten Pumpe 26 das warme Flüssigsalz aus dem Speichertank 24 einem Wärmetauscher 28 zugeführt werden, wo das warme Flüssigsalz eine mit Hilfe einer Speisewasserpumpe 30

zugeführte Flüssigkeit, insbesondere Wasser, verdampfen und überhitzen kann. Das in dem Wärmetauscher 28 durch den Wärmeaustausch mit der Flüssigkeit auf ca. 180°C abgekühlte Flüssigsalz kann wieder dem Vorlagetank 14 zugeführt werden.

[0030] Insbesondere ist es möglich in einem ersten Zeitraum bei einem Überangebot von elektrischer Leistung im Stromnetz 22 mit Hilfe der Heizeinrichtung 18 elektrische Energie in Form von Wärmeenergie in dem Speichertank 24 zu speichern und in einem zweiten Zeitraum bei einem Unterangebot von elektrischer Leistung im Stromnetz 22 mit Hilfe des Wärmetauschers 28 überhitzten Dampf zu erzeugen, der in der mit dem Generator verbundenen Turbine verstromt und dem Stromnetz 22 wieder zugeführt werden kann. Hierbei kann vorgesehen sein, dass in dem ersten Zeitraum die Heizeinrichtung 18, aber nicht der Wärmetauscher 28 und in dem zweiten Zeitraum der Wärmetauscher 28, aber nicht die Heizeinrichtung 18 betrieben werden.

[0031] Wie in Fig. 2 dargestellt ist, kann das bei einem ersten Wärmestrom 30 in der Heizeinrichtung 18 aufgeheizte Flüssigsalz eine vergleichsweise hohe Temperatur T von beispielsweise 550°C aufweisen. Wenn das warme Flüssigsalz aus dem Speichertank 24 dem Wärmetauscher 28 zugeführt wird, kann sich das warme Flüssigsalz entlang eines zweiten Wärmestroms 32 unter Abgabe einer Wärmemenge Q abkühlen und als kaltes Flüssigsalz in den Vorlagetank 14 gefördert werden. Innerhalb des Wärmetauschers 12 kann sich die Flüssigkeit entlang eines dritten Wärmestroms 34 erwärmen. Hierbei wird die Flüssigkeit in einem ersten Bereich 36 zunächst bis zum Siedepunkt erwärmt. Innerhalb eines sich daran anschließenden zweiten Bereichs 38 wird die Flüssigkeit vollständig verdampft. Innerhalb eines sich an dem zweiten Bereich 38 anschließenden dritten Bereichs 40 wird die vollständig verdampfte Flüssigkeit weiter aufgeheizt und dadurch überhitzt. Dadurch kann die relativ hohe Temperaturdifferenz zwischen der in der Heizeinrichtung 18 für das Flüssigsalz erreichbaren Temperatur und der Siedetemperatur der Flüssigkeit im Wärmetauscher ausgenutzt werden, um einen hohen energetischen und besonders trockenen Hochdruckdampf zu erhalten.

Patentansprüche

1. Dampferzeuger zur Erzeugung von überhitzten Hochdruckdampf, mit

einem Vorlagetank (14) zur Speicherung eines elektrisch leitfähigen kalten Flüssigsalzes, einer Heizeinrichtung (18) zum Aufheizen des kalten Flüssigsalzes, wobei die Heizeinrichtung (18) über das Flüssigsalz elektrisch miteinander verbindbare und von einer Wechselspannungsquelle betreibbare Elektroden (20) aufweist, einem Speichertank (24) zu Speicherung des

von der Heizeinrichtung (18) aufgeheizten warmen Flüssigsalzes und

einem in einem Strömungspfad des Flüssigsalzes von dem Speichertank (24) zum Vorlagetank (14) angeordneten Wärmetauscher (28) zum Vorwärmen, Verdampfen und/oder Überhitzen einer Flüssigkeit, insbesondere Wasser, innerhalb des Wärmetauschers (28) auf ein oberhalb einer Siedetemperatur der Flüssigkeit liegendes Hochtemperaturniveau.

2. Dampferzeuger nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Massestrom der Flüssigkeit und eine Wärmemenge des warmen Flüssigsalzes bei der Temperatur am Ausgang des Wärmetauschers (28) derart aneinander angepasst sind, dass für einen Druck p des den Wärmetauscher (28) verlassenden Dampfes $5 \text{ bar} \leq p \leq 200 \text{ bar}$, insbesondere $15 \text{ bar} \leq p \leq 120 \text{ bar}$ und vorzugsweise $30 \text{ bar} \leq p \leq 60 \text{ bar}$ und/oder bei einem Sattedampfdruck p_S der Flüssigkeit im Wärmetauscher (28) $1,5 \leq p_S/p \leq 20,0$, insbesondere $2,0 \leq p_S/p \leq 10,0$ und vorzugsweise $3,0 \leq p_S/p \leq 5,0$ gilt.

3. Dampferzeuger nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Heizeinrichtung (18) eingerichtet ist, das Flüssigsalz auf eine Temperatur T oberhalb einer vorgesehenen Verdampfungstemperatur der Flüssigkeit aufzuheizen, wobei insbesondere $100^\circ\text{C} \leq T \leq 560^\circ\text{C}$, vorzugsweise $170^\circ\text{C} \leq T \leq 450^\circ\text{C}$ und besonders bevorzugt $250^\circ\text{C} \leq T \leq 350^\circ\text{C}$ gilt.

4. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (20) der Heizeinrichtung (18) an einer auf Mittelspannung betriebenen Wechselspannungsquelle oder Drehstromquelle angeschlossen sind, wobei die Wechselspannungsquelle oder Drehstromquelle eine Mittelspannung U von $1 \text{ kV} \leq U \leq 69 \text{ kV}$, insbesondere $10 \text{ kV} \leq U \leq 50 \text{ kV}$ und vorzugsweise $20 \text{ kV} \leq U \leq 30 \text{ kV}$ bereitstellt.

5. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Flüssigsalz ein, insbesondere wasserfreies, geschmolzenes Salz oder eine, insbesondere wasserfreie, geschmolzene Salzmischung ist.

6. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (20) aus einem Stromnetz (22) betreibbar sind, wobei ein mit Hilfe des überhitzten Dampfes betreibbarer Generator zum Einspeisen erzeugter elektrischer Energie in das Stromnetz (22) vorgesehen ist.

7. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 6 **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem

Speichertank (24) und dem Wärmetauscher (28) ein verschließbares Ventil vorgesehen ist.

8. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Strömungspfad von dem Vorlagetank (14) zum Speichertank (24) eine erste Pumpe (16) zum Fördern des Flüssigsalzes und in einem Strömungspfad von dem Speichertank (24) zum Vorlagetank (14) eine zweite Pumpe (26) zum Fördern des Flüssigsalzes vorgesehen sind. 5
10
9. Dampferzeuger nach einem der Ansprüche 1 bis 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie verbundene Entspannungseinrichtung, insbesondere Turbine, und/oder ein Druck- und/oder Wärmeverbraucher vorgesehen ist, wobei die Entspannungseinrichtung und/oder der Druck- und/oder Wärmeverbraucher mit dem Wärmetauscher (28) zur Abnahme von dem Wärmetauscher (28) verlassenden überhitzten Dampf verbunden ist. 15
20
10. Verfahren zum Betrieb eines Dampferzeugers (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem 25
in einem ersten Zeitraum nur das Flüssigsalz aufgeheizt wird, während ein Verdampfen der Flüssigkeit unterbleibt und
in einem zum ersten Zeitraum zeitlich versetzten zweiten Zeitraum nur ein Vorwärmen, Verdampfen und Überhitzen der Flüssigkeit erfolgt, während ein Aufheizen des Flüssigsalzes unterbleibt. 30
35
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem in dem ersten Zeitraum eine Belastung eines Stromnetzes (22) durch elektrische Verbraucher geringer als in dem zweiten Zeitraum ist. 40
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem ein den Wärmetauscher (28) verlassender überhitzter Dampf einer Wärmenutzung zugeführt wird und der überhitzte Dampf stromabwärts der Wärmenutzung im überhitzten Zustand vorliegt. 45
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem ein den Wärmetauscher verlassender überhitzter Dampf einer mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie verbundenen Entspannungseinrichtung, insbesondere Turbine, zugeführt wird und der überhitzte Dampf stromabwärts der Entspannungseinrichtung im überhitzten Zustand vorliegt. 50
55
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem die Elektroden (20) der Heizeinrichtung (18) mit Wechselspannung betrieben werden.

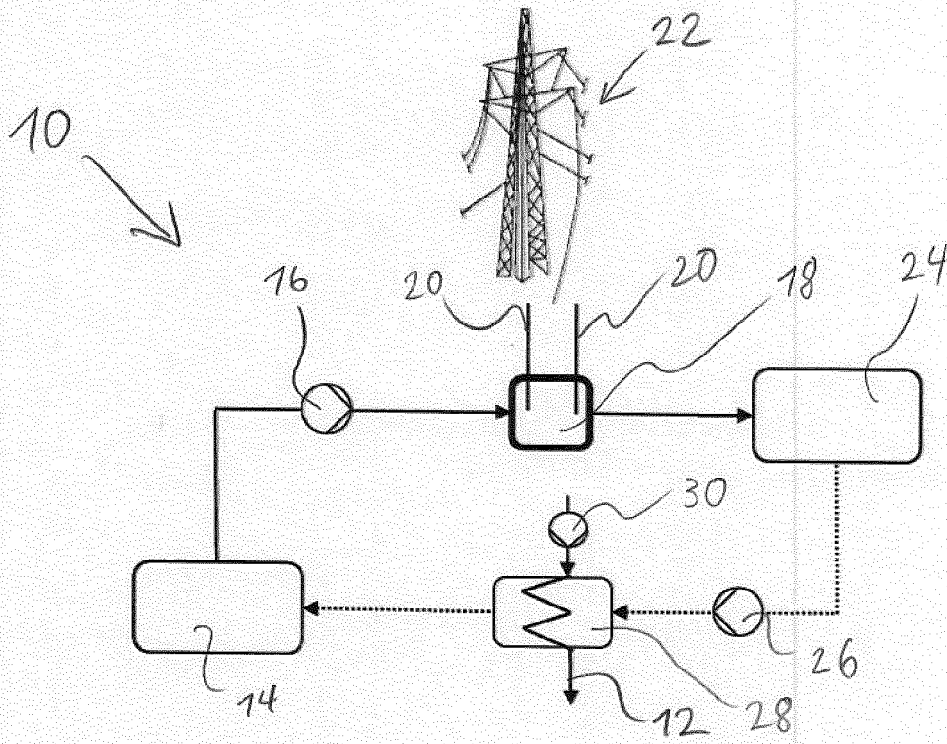


Fig. 1

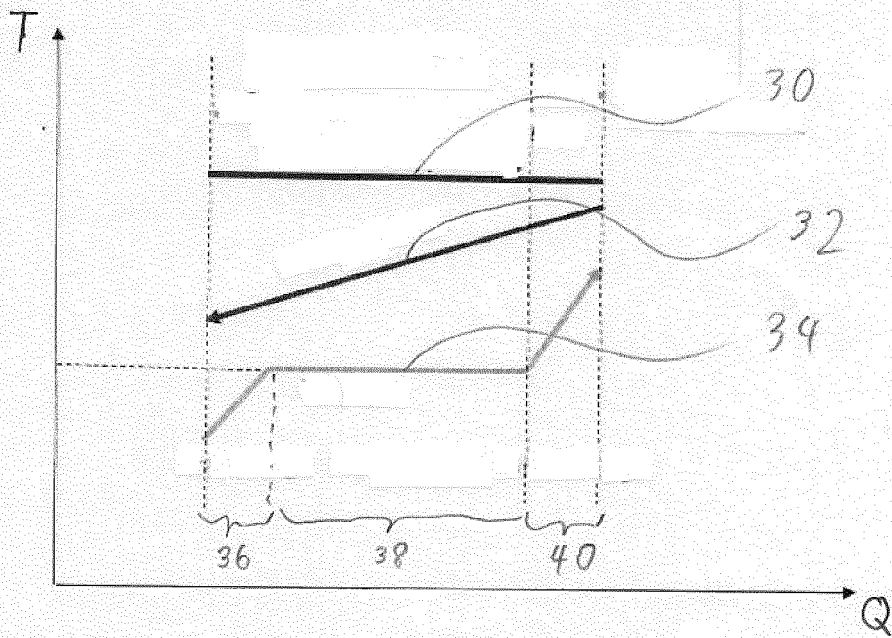


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 2209

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 2017/370250 A1 (ZENG ZHIYONG [CN] ET AL) 28. Dezember 2017 (2017-12-28) * Zusammenfassung; Abbildung 12 * * Absätze [0015] - [0017], [0079] - [0094] *	1-14	INV. F22B1/06 F22B1/02 F01K13/00
X	CN 108 533 467 A (UNIV NORTH CHINA ELECTRIC POWER) 14. September 2018 (2018-09-14) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * * Sections "Summary of the Invention", "Detailed Ways" *	1-14	
X	EP 2 574 784 A2 (PRATT & WHITNEY ROCKETDYNE INC [US]) 3. April 2013 (2013-04-03) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2 * * Absätze [0004] - [0008], [0011] - [0034] *	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F22B F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlussdatum der Recherche 7. September 2023	Prüfer Varelas, Dimitrios
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 23 16 2209

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

07-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017370250 A1	28-12-2017	EP 3242012 A1	08-11-2017
		US 2017370250 A1	28-12-2017
		WO 2016106726 A1	07-07-2016

CN 108533467 A	14-09-2018	KEINE	

EP 2574784 A2	03-04-2013	EP 2574784 A2	03-04-2013
		US 2013081394 A1	04-04-2013
		ZA 201205962 B	24-04-2013

EPO FORM P0461

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

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

- WO 201994921 A1 [0002]