

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
28. April 2016 (28.04.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/062425 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F01K 23/10 (2006.01) *F01K 3/02* (2006.01)
F01K 13/02 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/068465
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. August 2015 (11.08.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 115 449.5
23. Oktober 2014 (23.10.2014) DE
- (71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT
MÜNCHEN [DE/DE]; Arcisstrasse 21, 80333 München
(DE).
- (72) Erfinder: ANGERER, Michael; Einsteinstr. 1, 85748
Garching (DE). SPLIETHOFF, Hartmut; Neufeldstr.
37a, 82140 Olching (DE).
- (74) Anwälte: LUCKE, Andreas et al.; Boehmert & Boehmert
Anwaltspartnerschaft MBB, Pettenkoferstrasse 20 - 22,
80336 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: THERMAL BUFFER STORE FOR ACCELERATING THE START-UP OR STARTING PROCESS IN POWER PLANTS HAVING A WASTE-HEAT STEAM GENERATOR

(54) Bezeichnung : THERMISCHER PUFFERSPEICHER ZUR BESCHLEUNIGUNG DES HOCH- BZW. ANFAHRVORGANGS IN KRAFTWERKEN MIT ABHITZEDAMPFERZEUGER

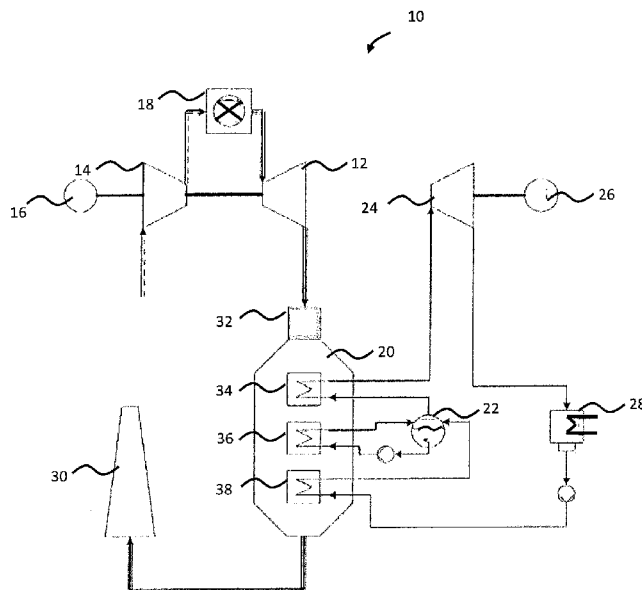


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for limiting the change in a transfer of heat, which transfer of heat is induced by a flow of matter from a turbine to a waste-heat steam generator in a power plant. The method comprises the step of guiding the flow of matter from the turbine through a thermal buffer store to the waste-heat steam generator and is characterized in that the guiding of the flow of matter through the thermal buffer store occurs during a start-up or starting process and/or a shut-down or stopping process of the turbine.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Begrenzung der Änderung eines durch einen Materiestrom von einer Turbine zu einem Abhitzedampferzeuger induzierten Wärmetransports in einem Kraftwerk bereit. Das Verfahren umfasst den Schritt des Führens des Materiestroms von der Turbine durch einen thermischen Pufferspeicher zu dem Abhitzedampferzeuger und ist dadurch gekennzeichnet, dass das Führen des Materiestroms durch den thermischen Pufferspeicher während eines Hoch- oder Anfahrvorgangs und/oder eines Herunter- oder Abfahrvorgangs der Turbine stattfindet.



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

THERMISCHER PUFFERSPEICHER ZUR BESCHLEUNIGUNG DES HOCH- BZW. ANFAHRVORGANGS IN KRAFTWERKEN MIT ABHITZEDAMPFERZEUGER

GEBIET DER ERFINDUNG

- 5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf thermische Pufferspeicher zur Beschleunigung des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs in Kraftwerken mit einem Abhitzedampferzeuger. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf thermische Pufferspeicher zur Beschleunigung des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs einer in einem Gas- und Dampfkraftwerk verbauten Gasturbine.

HINTERGRUND

- 10 Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) haben im Vergleich zu anderen konventionellen Kraftwerken relativ hohe Wirkungsgrade von bis zu 60 %. Zudem sind ihre Investitionskosten im Vergleich zu kohlegefeuerten Kraftwerken geringer. Damit eignen sie sich besser für den Betrieb mit geringeren Volllaststundenzahlen, wie er in einem von Erneuerbaren Energien (EE) dominierten Energiesystem zunehmend vorkommt.
- 15 In zukünftigen, von der fluktuierenden Einspeisung der EE dominierten Energiesystemen, ist vor allem die Anfahrzeit, also die Zeit, die vergeht um ein Kraftwerk aus dem Stillstand auf Nennleistung zu bringen, ein entscheidender Parameter für den Kraftwerkseinsatz. Ist ein Kraftwerk nämlich in der Lage, binnen weniger als 15 Minuten (min) anzufahren, so kann es Minutenreserve am Markt veräußern. Nach derzeitigem Stand der Technik sind lediglich
- 20 Pumpspeicherkraftwerke und reine Gasturbinenkraftwerke in der Lage, aus dem Stillstand Minutenreserve bereitzustellen.

- Trotz des Gasturbinenanteils, der prinzipiell ein schnelles Anfahren erlaubt, bleiben herkömmliche GuD-Kraftwerke hinsichtlich Anfahrzeit deutlich hinter reinen Gasturbinenkraftwerken zurück. Der Grund hierfür ist, dass der Dampfteil des GuD-
- 25 Kraftwerks die Minimierung der Anfahrzeit der Gasturbine begrenzt, da bei zu schnellem Anfahren der Gasturbine thermische Spannungen im Abhitzedampferzeuger und in mit dem

Abhitzedampferzeuger thermisch verbundenen Bauteilen auftreten, welche diese nachhaltig schädigen können. Je länger ein GuD-Kraftwerk vor einem Anfahrvorgang stillgestanden hat, desto stärker ist der Abhitzedampferzeuger ausgekühlt und desto länger dauert der Anfahrvorgang.

- 5 Flexibilisierung von GuD-Kraftwerken ist in Wissenschaft und Technik daher Gegenstand intensiver Forschung und Entwicklung.

Neben klassischen Maßnahmen wie der Dampfeindüsung (Steam Injected Gas Turbine - STIG) oder Warmhaltung kritischer Komponenten wurde auch vorgeschlagen, GuD-Kraftwerke mit Speichern auszurüsten. Unter dem Namen STIG Speicher wurde
10 beispielsweise ein System vorgestellt, das durch den Einsatz eines Dampfspeichers das Kennfeld eines STIG-Kraftwerks erheblich erweitert (vgl. Lenk U. und Tremel, A. (2013): Flexibilisierung von Kraftwerken durch thermische Energiespeicherung, Kraftwerkstechnik, S. 733-747, Dresden).

Ferner besteht die Möglichkeit in einem GuD-Kraftwerk einen Bypasskamin vorzusehen.
15 Dieser weist bezüglich der Dynamikverbesserung beim Hoch- bzw. Anfahren der Gasturbine großes Potenzial auf, leidet jedoch unter einem beträchtlichen Wärmemengenverlust, was sich negativ auf den Wirkungsgrad auswirkt. Ferner ist durch die Verwendung eines Bypasskamins eine Dynamikverbesserung beim Abfahren der Gasturbine nicht möglich. Nachteilig ist bei der Verwendung eines Bypasskamins weiterhin, dass eine Gabelung im
20 Rauchgasweg zwischen Gasturbine und Abhitzedampferzeuger vorgesehen werden muss. Dieser Teil des Rauchgaspfades gilt jedoch allgemein als strömungsmechanisch besonders sensibel, da eine gleichmäßige Anströmung des Abhitzedampferzeugers gewährleistet werden muss.

Weitere aus dem Stand der Technik bekannten Maßnahmen zur Dynamikverbesserung in
25 GuD-Kraftwerken setzen am Wasser-Dampf-Kreislauf an, beispielsweise Speichersysteme, die parallel zum Abhitzedampferzeuger verschaltet werden (vgl. DE 10 260992 A1 und WO2012/150969 A1).

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, die kurzen Anfahrzeiten von Gasturbinen auch im GuD-Betrieb nutzbar zu machen, ohne dabei allzu große Einbußen beim Wirkungsgrad zu erleiden. Die Lösung dieser Aufgabe basiert auf der seriellen Integration eines thermischen Pufferspeichers zwischen Turbine und Abhitzedampferzeuger, wodurch eine graduelle thermische Entkopplung von Turbine und Abhitzedampferzeuger während der kritischen Phasen ermöglicht wird. Dadurch werden starke Gradienten der Abgastemperatur, wie sie beispielsweise beim schnellen An- oder Abfahren der Turbine auftreten, vor dem Eintritt in den Abhitzedampferzeuger abgemildert. Der Gasturbinenteil eines GuD-Kraftwerks kann somit deutlich dynamischer betrieben werden, ohne dass es dabei zu erhöhten Schädigungen durch thermische Spannungen im Abhitzekessel kommt.

Die erfindungsgemäße Lösung umfasst ein Verfahren und zwei Kraftwerke.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Begrenzung der Änderung eines durch einen Materiestrom von einer Turbine zu einem Abhitzedampferzeuger induzierten Wärmestroms in einem Kraftwerk, bei dem der Materiestrom von der Turbine durch einen thermischen Pufferspeicher zu dem Abhitzedampferzeuger geführt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass das Führen des Materiestroms durch den thermischen Pufferspeicher während eines Hoch- oder Anfahrvorgangs und/oder eines Herunter- oder Abfahrvorgangs der Turbine stattfindet.

Hoch- und Anfahrvorgang sind dabei insbesondere als Betriebszustandsänderungen zu verstehen, bei denen sich der Energieausstoß des Kraftwerks erhöht, während Herunter- und Abfahrvorgang insbesondere als Betriebszustandsänderungen zu verstehen sind, bei denen sich der Energieausstoß des Kraftwerks verringert. Als Hochfahrvorgang soll insbesondere eine Laständerung im Betrieb des Kraftwerks und als Anfahrvorgang soll insbesondere ein Warm- oder Kaltstart verstanden werden. Analog soll ein Herunterfahrvorgang insbesondere als Überführen des Kraftwerks in einen Betriebsmodus verstanden werden, an dessen Ende das Kraftwerk in einem stabilen Betriebszustand mit geringem Energieausstoß, üblicherweise um die 25% der Nennleistung, verbleibt. Als Abfahrvorgang wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem sich der Energieausstoß des Kraftwerks auf null reduziert und an den sich je nach

Stillstandszeit ein Warmstartzustand oder nach fortschreitender Auskühlung ein Kaltstartzustand anschließt.

Das erfindungsgemäße Verfahren begrenzt die zeitliche Änderung des Wärmetransports zu dem Abhitzedampferzeuger, indem der Materiestrom durch den thermischen Pufferspeicher zu dem Abhitzedampferzeuger geführt wird. Beim Passieren des thermischen Pufferspeichers, 5 welcher während des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs eine geringere Temperatur aufweist als der Materiestrom und während des Runter- bzw. Abfahrvorgangs eine höhere Temperatur aufweist als der Materiestrom, kühlt der Materiestrom ab bzw. heizt sich auf, da auf Grund der unterschiedlichen Temperaturen Wärme vom Materiestrom an den thermischen 10 Pufferspeicher abgegeben wird bzw. vom thermischen Pufferspeicher aufgenommen wird.

Da sich der Pufferspeicher während des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs durch den ständigen Materiestrom fortlaufend erwärmt, sinkt die Abkühlung des Materiestroms. Dadurch steigt die Temperatur des am Abhitzedampferzeuger ankommenden Materiestroms an, bis sie schlussendlich eine konstante Betriebstemperatur erreicht. Der in Serie geschaltete thermische 15 Pufferspeicher begrenzt somit die Änderung des Wärmeenergietransports zum Abhitzedampferzeuger nur während des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs und des Runter- oder Abfahrvorgangs und ist im sich an den Hoch- bzw. Anfahrvorgang anschließenden Normalbetrieb thermisch neutral.

Vorzugsweise wird der Materiestrom während mindestens 25%, vorzugsweise mindestens 20 50% und besonders vorzugsweise 100% der Dauer des Hoch- oder Anfahrvorgangs der Turbine kontinuierlich durch den thermischen Pufferspeicher geführt und der Hoch- oder Anfahrvorgang ist abgeschlossen, wenn die Turbine eine vorbestimmte Leistungsstufe erreicht hat, in der die Turbine für mindestens 10 min, vorzugsweise für mindestens 30 min und besonders vorzugsweise für mindestens 60 min verbleibt.

25 Grundsätzlich kann das Führen des Materiestroms durch den thermischen Pufferspeicher auch durch eine Regelung gesteuert werden, z. B. derart, dass der Materiestrom nur in dem Maße durch den Pufferspeicher geleitet wird, dass ein am Abhitzedampferzeuger gemessener Temperaturgradient einen vorbestimmten Wert nicht überschreitet, welcher basierend auf der Bauweise des Abhitzedampferzeugers und an den Abhitzedampferzeuger thermisch

gekoppelter Bauteile so bestimmt ist, dass der Abhitzedampferzeuger bei Erwärmung mit einem Temperaturgradienten, der unterhalb des vorbestimmten Werts ist, langfristig keinen Schaden nimmt. Ferner kann das Hoch- bzw. Anfahren auch stufenweise erfolgen, so dass die Hoch- bzw. Anfahrsgeschwindigkeit der Turbine beispielsweise reduziert wird, wenn sich ein
5 am Abhitzedampferzeuger gemessener Temperaturgradient dem vorbestimmten Wert nähert.

Eine solche aktive Regelung des Materiestroms bedeutet aber zusätzlichen Aufwand und kann, abhängig von der Bauart des Kraftwerks, bei passender Auslegung des thermischen Pufferspeichers vermieden werden, beispielsweise indem der Pufferspeicher gerade so ausgelegt wird, dass ein am Abhitzedampferzeuger gemessener Temperaturgradient auch bei
10 durchgängig kontinuierlichem Führen des Materiestroms durch den Pufferspeicher und maximaler Hoch- bzw. Anfahrsgeschwindigkeit der Turbine einen vorbestimmten Grenzwert nicht überschreitet.

Vorzugsweise beträgt die vorbestimmte Leistungsstufe nicht weniger als 25% der Nennleistung, vorzugsweise nicht weniger als 50% der Nennleistung, besonders vorzugsweise
15 nicht weniger als 75% der Nennleistung und der Hoch- oder Anfahrvorgang der Turbine dauert nicht länger als 30 min, vorzugsweise nicht länger als 15 min.

Ist der thermische Pufferspeicher so dimensioniert, dass er es erlaubt, innerhalb von 15 min die Turbine auf eine bestimmte Leistungsstufe hoch- bzw. anzufahren, kann die bei dieser Leistungsstufe erzeugte Energie als Minutenreserve genutzt werden. Da der Wirkungsgrad
20 von Gasturbinen bei Annäherung an ihre Nennleistung im Allgemeinen steigt, ist es daher besonders vorteilhaft, wenn die Gasturbine innerhalb von 15 min eine möglichst hohe Leistungsstufe erreicht, um die Minutenreserve mit möglichst hohem Wirkungsgrad erzeugen zu können.

Vorzugsweise ist die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers so auf die Turbine
25 abgestimmt, dass der Anstieg des Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers gegenüber dem Anstieg am Austritt der Turbine derart verzögert wird, dass der Wärmestrom am Ausgang des thermischen Pufferspeichers am Ende des Hoch- oder Anfahrvorgangs der Turbine mehr als 20%, vorzugsweise mehr als 40% und besonders vorzugsweise mehr als 60%, aber nicht mehr als 90%, vorzugsweise nicht mehr als 80% und besonders vorzugsweise

nicht mehr als 70% des Wertes am Austritt der Turbine erreicht. Der Wärmestrom wird hierbei nach der Formel $\text{Wärmestrom} = \text{Massenstrom} \cdot \text{Wärmekapazität} \cdot \text{Temperatur}$ bestimmt.

Das bedeutet, dass der thermische Pufferspeicher genug Kapazität aufweist, um bis zum Ende des Hoch- oder Anfahrvorgangs Wärmeenergie aufzunehmen. Gleichzeitig ist er nicht so groß
5 dimensioniert, dass er die Energieerzeugung durch den Dampfteil zu lange verzögert.

Vorzugsweise ist die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers so auf die Turbine abgestimmt, dass der Betrag des Gradienten des Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers derart gedämpft wird, dass der Betrag des Gradienten des Wärmestroms am
10 Ausgang des thermischen Pufferspeichers während des Hoch- oder Anfahrvorgangs oder während des Herunter- oder Abfahrvorgangs im Durchschnitt kleiner als 5 %/min, vorzugsweise kleiner als 2 %/min und besonders vorzugsweise kleiner als 1 %/min ist, wobei sich die Prozentangaben auf den Wärmestrom bei Nennleistung beziehen.

Durch die Begrenzung des Gradienten des Wärmestroms wird eine zu große Änderung der Temperatur am Ausgang des thermischen Pufferspeichers vermieden, was verhindert, dass
15 Schäden an kritischen Bauteilen des Dampfteils entstehen.

Vorzugsweise ist die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers gleich $\alpha \cdot \text{thermische Nennleistung des Abhitzedampferzeugers} \cdot \frac{s}{K}$, wobei α größer als 1×10^{-3} und vorzugsweise größer als 1×10^{-2} und kleiner als 1×10^3 und vorzugsweise kleiner als 1×10^2 ist.

20 Vorzugsweise wird das Verfahren auf ein GuD-Kraftwerk angewandt, dessen Materiostrom Rauchgas ist.

Die Anwendung auf GuD-Kraftwerke ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil durch des Rauchgas Temperaturänderungen besonders schnell und unmittelbar an den Dampfteil weitergegeben werden und der thermische Pufferspeicher daher notwendig ist, um den
25 Dampfteil vor zu hohen thermischen Spannungen zu schützen.

Vorzugsweise weist das Kraftwerk Leitungen auf, welche den Materiestrom von der Turbine zu dem thermischen Pufferspeicher und von dem thermischen Pufferspeicher zu dem Abhitzedampferzeuger führen, wobei die Leitungen keine Abzweigungen und/oder keine regelbar verschließbaren Klappen aufweisen.

- 5 Eine Ausgestaltung mit Abzweigungen und regelbar verschließbaren Klappen würde zwar die Regelung des durch den thermischen Puffer geführten Materiestroms ermöglichen, aber auch zusätzlichen Aufwand in Form von der Regelungstechnik bedeuten, der bei entsprechender Auslegung des thermischen Puffers vermieden werden kann.

- 10 Alternativ kann das Verfahren die weiteren Schritte des Bestimmens, dass der thermische Pufferspeicher eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat und des Führens des Materiestroms durch eine parallel zu dem thermischen Pufferspeicher angeordnete Überbrückungsleitung aufweisen, wobei ein Druckverlust durch die Überbrückungsleitung kleiner ist, als ein Druckverlust durch den thermischen Pufferspeicher.

- 15 Hat der thermische Pufferspeicher seine Betriebstemperatur erreicht, kann er keine weitere Wärmeenergie aufnehmen. In diesem Fall kann der mit dem Durchströmen des Wärmepuffers einhergehende Staudruck, welcher den an der Turbine zur Verfügung stehenden Druck reduziert, vermieden oder zumindest reduziert werden, indem der Materiestrom durch eine Überbrückungsleitung geführt wird, die mit einem kleineren Druckverlust behaftet ist.

- 20 Vorzugsweise ist die vorbestimmte Temperatur eine Betriebstemperatur des thermischen Pufferspeichers bei Nennleistung des Kraftwerks und der Druckverlust durch die Überbrückungsleitung beträgt weniger als 75% und besonders vorzugsweise weniger als 50% des Druckverlusts durch den thermischen Pufferspeicher.

- 25 Vorzugsweise umfasst das Verfahren die weiteren Schritte des Herunterfahrens der Turbine und des Zuführens von Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher an den Abhitzedampferzeuger, vorzugsweise durch Führen von Umgebungsluft von der Turbine oder von einem zusätzlichen, parallel zur Turbine angeordneten Gebläse durch den thermischen Pufferspeicher zum Abhitzedampferzeuger.

Nach dem Herunterfahren der Turbine kann durch Wegführen von Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher dieser vor dem nächsten Startvorgang entleert werden. Ferner kann durch das Zuführen von Wärmeenergie der Dampfteil warmgehalten werden, so dass die beim anschließenden Hochfahren entstehenden thermischen Spannungen reduziert werden können.

Vorzugsweise umfasst das Kraftwerk dazu einen mit einem Fluid gefüllten Rohrkreislauf, welcher über einen ersten Wärmetauscher mit dem thermischen Pufferspeicher gekoppelt ist und über einen zweiten Wärmetauscher mit dem Abhitzedampferzeuger gekoppelt ist.

Das erste erfindungsgemäße Kraftwerk umfasst eine Turbine, einen thermischen Pufferspeicher und einen Abhitzedampferzeuger. Im Betrieb wird Wärmeenergie mittels eines Materiestroms von der Turbine durch den thermischen Pufferspeicher zum Abhitzedampferzeuger geführt. Das erste erfindungsgemäße Kraftwerk ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers gleich $\alpha \cdot$ thermische Nennleistung des Abhitzedampferzeugers $\cdot \frac{s}{K}$ ist, wobei α größer als 1×10^{-3} und vorzugsweise größer als 1×10^{-2} und kleiner als 1×10^3 und vorzugsweise kleiner als 1×10^2 ist.

Hierbei wird davon ausgegangen, dass die von der Turbine an den Abhitzedampferzeuger abgegebene Wärmeleistung im Wesentlichen der thermischen Nennleistung des Dampfteils geteilt durch den Wirkungsgrad entspricht. Der thermische Pufferspeicher muss so ausgelegt sein, dass er eine spürbare Menge dieser Wärmeenergie aufnehmen kann, um den Temperaturanstieg in dem Abhitzedampferzeuger auf ein unschädliches Maß zu reduzieren. Gleichzeitig würde ein zu großer thermischer Pufferspeicher das Erwärmen des Abhitzedampferzeugers stark verlangsamen, wodurch die Erzeugung von Energie durch den Dampfteil des Kraftwerks unnötig verzögert werden würde.

Bevorzugt wird daher ein thermischer Pufferspeicher, welcher eine Kapazität aufweist, die es erlaubt, die Erwärmung des Abhitzedampferzeugers so zu bremsen, dass keine Schäden am Abhitzedampferzeuger oder an mit dem Abhitzedampferzeuger thermisch verbundenen Bauteilen entstehen und es gleichzeitig erlaubt, dass das Kraftwerk möglichst schnell mit Nennleistung betrieben wird. Da die Kapazität eines solchen thermischen Pufferspeichers

stark von den baulichen Gegebenheiten des Kraftwerks abhängt, lässt sich hierzu nur ein Bereich definieren und es ist liegt in der Natur der Sache, dass dieser Bereich eher groß bemessen sein muss, um den unterschiedlichsten Gegebenheiten Rechnung zu tragen. Es wird aber davon ausgegangen, dass es Fachleuten ohne weiteres möglich ist, für ein bestimmtes Kraftwerk oder einen bestimmten Kraftwerkstyp eine passende Kapazität des thermischen Pufferspeichers zu berechnen, und diese dann gegebenenfalls durch Austesten des Hoch- bzw. Anfahrvorgangs des Kraftwerks und Modifizieren des thermischen Pufferspeichers weiter anzupassen.

Das zweite erfindungsgemäße Kraftwerk umfasst eine Turbine, einen thermischen Pufferspeicher und einen Abhitzedampferzeuger. Im Betrieb wird Wärmeenergie mittels eines Materiestroms von der Turbine durch den thermischen Pufferspeicher zum Abhitzedampferzeuger geführt. Das zweite erfindungsgemäße Kraftwerk ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers so auf die Turbine abgestimmt ist, dass für den Fall, dass die Turbine aus einem Kaltstart innerhalb von 10 min bis 30 min auf Nennlast hochgefahren wird, ein Anstieg eines Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers derart verzögert wird, dass dieser frühestens nach 30 min, vorzugsweise frühestens nach 60 min und besonders vorzugsweise frühestens nach 120 min 90% des Gleichgewichtswertes in J/s erreicht.

Durch die Verzögerung des Temperaturanstiegs wird die Erzeugung von thermischen Spannungen im Dampfteil reduziert, da die Bauteile im Dampfteil mehr Zeit haben sich gleichmäßig zu erwärmen.

Auch wenn die vorliegende Erfindung nicht auf GuD-Kraftwerke beschränkt ist, so ist sie doch vorzugsweise auf GuD-Kraftwerke anzuwenden, da bei GuD-Kraftwerken der Materiestrom Rauchgas ist, durch welchen beim Hoch- bzw. Anfahren Wärmeenergie besonders schnell und unmittelbar von der Gasturbine zum Abhitzedampferzeuger transportiert wird.

Vorzugsweise weist das erste oder zweite erfindungsgemäße Kraftwerk Leitungen auf, welche den Materiestrom von der Turbine zu dem thermischen Pufferspeicher und von dem

thermischen Pufferspeicher zu dem Abhitzedampferzeuger führen, wobei die Leitungen keine Abzweigungen und/oder keine regelbar verschließbaren Klappen aufweisen.

Eine serielle, ungeregelte Einkopplung des thermischen Pufferspeichers ist insbesondere deshalb vorteilhaft, weil aufwändige Steuer- und Regelungstechnik vermieden wird, deren
5 Einsatz durch die hohen Temperaturen und Drücke in den Leitungen erschwert würde.

Alternativ kann das erste oder zweite erfindungsgemäße Kraftwerk eine oder mehrere parallel zu dem thermischen Pufferspeicher angeordnete Überbrückungsleitungen aufweisen, welche dazu eingerichtet ist, den Materiestrom zu führen, wenn der thermische Pufferspeicher eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat, wobei ein Druckverlust durch die eine oder die
10 mehreren Überbrückungsleitungen kleiner ist, als ein Druckverlust durch den thermischen Pufferspeicher, oder mit anderen Worten, der Durchflusswiderstand für den Materiestrom durch die eine oder die mehreren Überbrückungsleitungen kleiner ist, als durch den Pufferspeicher.

Durch die eine oder die mehreren Überbrückungsleitungen wird es möglich, den
15 Pufferspeicher während oder nach dem Hoch- bzw. Anfahren auszukoppeln, so dass der mit der Führung des Materiestroms durch den thermischen Pufferspeicher verbundene Druckverlust vermieden oder zumindest verringert werden kann.

Vorzugsweise ist die vorbestimmte Temperatur eine Betriebstemperatur des thermischen Pufferspeichers bei Nennleistung des ersten oder zweite erfindungsgemäßen Kraftwerks und
20 der Druckverlust durch die eine oder die mehreren Überbrückungsleitungen beträgt weniger als 75%, vorzugsweise weniger als 50% des Druckverlusts durch den thermischen Pufferspeicher.

Die Auskopplung erfolgt vorzugsweise erst, wenn der thermische Pufferspeicher voll geladen ist und somit die Aufheizungsgeschwindigkeit des Abhitzedampferzeugers durch den
25 thermischen Pufferspeicher nicht mehr gebremst werden kann und der thermische Pufferspeicher nur noch für Druckverlust sorgt. Der Druckverlust der Überbrückungsleitung soll möglichst gering sein, beispielsweise eine Leitung gleicher Dimensionierung wie die Leitung von der Turbine zum thermischen Pufferspeicher.

Vorzugsweise ist das erste oder zweite erfindungsgemäße Kraftwerk ferner dazu eingerichtet dem Abhitzedampferzeuger beim zum Erliegen kommen des Materiestroms Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher zuzuführen, um ein zu schnelles Auskühlen des Abhitzedampferzeugers zu verhindern und/oder die Temperatur des Abhitzedampferzeugers oberhalb einer Warmstarttemperatur zu halten.

Durch das Zuführen von Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher und das Warmhalten des Abhitzedampferzeugers können thermische Spannungen beim Runter- bzw. Abfahren und Hoch- bzw. Anfahren reduziert werden oder der Hoch- bzw. Anfahrprozess beschleunigt werden.

10 Vorzugsweise umfasst das erste oder zweite erfindungsgemäße Kraftwerk dazu einen mit einem Fluid gefüllten Rohrkreislauf, welcher über einen ersten Wärmetauscher mit dem thermischen Pufferspeicher gekoppelt ist und über einen zweiten Wärmetauscher mit dem Abhitzedampferzeuger gekoppelt ist.

15 Vorzugsweise weist der thermische Pufferspeicher eine Vielzahl erster parallel angeordneter Platten und eine Vielzahl zweiter parallel angeordneter Platten auf, wobei die ersten Platten und die zweiten Platten eine Anordnung bilden, die eine Vielzahl paralleler Kanäle umfasst.

Die vorliegende Erfindung gemäß Anspruch 1, 12 und 13 basiert somit auf der Verwendung eines thermischen Pufferspeichers, der vorzugsweise in fester Anordnung, ohne zusätzliche Verschaltung, in Serie vor den Abhitzedampferzeuger geschaltet ist. Zweck dieser Schaltung ist nicht eine Flexibilisierung hinsichtlich Lastgradient oder Wärmeauskopplung, wie aus dem Stand der Technik bekannt, sondern ein Absenken der zulässigen Hoch- bzw. An- und Runter- bzw. Abfahrzeiten der Gasturbine bei gleich bleibender oder verringerter Belastung der kritischen Komponenten im Dampfteil.

25 Ein weiterer Vorteil über die zur Wärmeauskopplung aus dem Stand der Technik bekannte technische Lehre besteht darin, dass die erfindungsgemäße Lösung nur geringen Bauraum erfordert und somit bei bestehenden GuD Kraftwerken mit geringem Aufwand nachrüstbar ist.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Kraftwerks gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2a zeigt einen Vergleich von Gasturbinenausstrittstemperatur und Speicherausstrittstemperatur für einen Warmstart des Kraftwerks.

Fig. 2b zeigt einen Vergleich von Gasturbinenausstrittstemperatur und Speicherausstrittstemperatur für einen Kaltstart des Kraftwerks.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers zwischen Turbine und Abhitzedampferzeuger des Kraftwerks.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers zwischen Turbine und Abhitzedampferzeuger des Kraftwerks mit einer zusätzlichen Überbrückungsleitung.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers zwischen Turbine und Abhitzedampferzeuger des Kraftwerks mit einem zusätzlichen Kreislauf zum Warmhalten des Abhitzedampferzeugers.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform des thermischen Pufferspeichers.

In den Figuren sind gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

BESCHREIBUNG

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Kraftwerks 10 gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Kraftwerk 10 umfasst eine Turbine 12, welche über eine Welle mit einem der Turbine 12 vorgeschaltetem Verdichter 14 und einem

Generator 16 gekoppelt ist. Ein durch den Verdichter 14 verdichtetes Gas wird in einer Brennkammer 18 gezündet und erzeugt einen Materiestrom, welcher die Turbine antreibt 12.

Der Materiestrom wird über einen Abgasstrang einem Abhitzedampferzeuger 20 zugeführt, der zusammen mit einer Dampftrommel 22, einer Dampfturbine 24, welche mit einem weiteren Generator 26 gekoppelt ist, und einem Kondensator 28 einen Dampfteil des Kraftwerks 10 bildet. Der abgekühlte Materiestrom wird dann gereinigt und über einen Kamin 30 in die Umgebung abgegeben.

Im Abgasstrang ist zudem stromabwärts der Turbine 12, jedoch stromaufwärts des Abhitzedampferzeugers 20, ein thermischer Pufferspeicher 32 angeordnet. Der thermische Pufferspeicher 32 besteht aus einer Packung von Metallrohren, welche von dem aus der Turbine 12 austretenden Materiestrom umströmt werden. Der Materiestrom, der den thermischen Wärmepuffer 32 durchströmt, tritt nach Austritt aus dem thermischen Wärmepuffer 32 in den Abhitzedampferzeuger 20 ein. Der Abhitzedampferzeuger 20 umfasst einen Überhitzer 34, einen Verdampfer 36 und einen Economizer 38, welche Wärmeenergie von dem in den Abhitzedampferzeuger 20 eintretenden Materiestrom in den Dampfkreislauf einspeisen.

Auch wenn im vorliegenden Ausführungsbeispiel explizit ein thermischer Pufferspeicher 32 aus Metallrohren beschrieben ist, kann der thermische Pufferspeicher 32 grundsätzlich verschiedene Materialien oder Materialkombinationen umfassen, z. B. Eisen, Stahl oder Keramik. Ferner können die Materialien in unterschiedlichster Form im thermischen Wärmepuffer 32 angeordnet sein, z. B. in Form von Rohren, Formsteinen oder Schüttgut.

Dabei ist unerheblich, ob der thermische Pufferspeicher 32 als geordnete Packung oder als lose Schüttung des Speichermaterials aufgebaut ist. Zielgrößen bei der Auslegung des thermischen Pufferspeichers 32 sind vielmehr der Wärmeübergangskoeffizient, die Wärmekapazität und der mit der Durchleitung des Materiestroms durch den thermischen Wärmepuffer 32 einhergehende Druckverlust im Abgasstrang.

Der Wärmeübergangskoeffizient ergibt zusammen mit der angeströmten Fläche des thermischen Pufferspeichers 32 die Energieaufnahmeleistung in Abhängigkeit vom

Temperaturunterschied zwischen der angeströmten Oberfläche des thermischen Pufferspeichers 32 und dem Materiestrom. Die Energieaufnahmeleistung muss dabei so ausgelegt sein, dass der thermische Pufferspeicher 32 die gewünschte Abflachung der Temperaturkurve am Ausgang des thermischen Pufferspeichers 32 bewirken kann. Im
5 vorliegenden Fall liegt die Energieaufnahmeleistung des thermischen Pufferspeichers 32 bei $2,75 \times 10^8 \text{ J/(Ks)}$.

Die spezifische Wärmekapazität ergibt zusammen mit der Speichermasse die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers 32. Diese ist so zu wählen, dass die thermische Trägheit groß genug ist, um den gewünschten Effekt (Abflachen der Temperaturkurve) zu erreichen, jedoch
10 vorzugsweise nicht so groß, dass die thermische Trägheit in einer zu großen Verzögerung des Anfahrvorgangs für den Dampfteil des Kraftwerks 10 resultiert. Im vorliegenden Fall hat der thermische Pufferspeicher 32 des Kraftwerks eine spezifische Wärmekapazität von 450 J/kgK und eine Speichermasse von $1 \times 10^6 \text{ kg}$ bei einer Wärmeleistung des Abhitzedampferzeugers 20 von 200 MW (thermisch).

15 Der Druckverlust ist möglichst gering zu halten, um Verluste durch den höheren benötigten Druck am Gasturbinenaustritt zu vermeiden. Im vorliegenden Fall lag der Druckverlust des thermischen Pufferspeichers 32 bei ca. 5 Pa.

Die Zielvorgaben der Stellgrößen stehen teilweise miteinander in Konflikt, so dass für jedes Kraftwerk 10 individuell ein optimales System ermittelt werden muss.

20 Daher ist klar, dass der thermische Pufferspeicher 32 je nach Bedarf eine Energieaufnahmeleistung aufweisen kann, die bezogen auf eine Wärmeleistung des Abhitzedampferzeugers 20 von 200 MW beispielsweise zwischen 40 MWh und 210 MWh (thermisch), zwischen 20 MWh und 420 MWh (thermisch) oder zwischen 80 MWh und 105 MWh (thermisch) liegt. Ebenso ist klar, dass der thermische Pufferspeichers 32 je nach
25 Bedarf eine Wärmekapazität aufweisen kann, die bezogen auf eine Wärmeleistung des Abhitzedampferzeugers 20 von 200 MW beispielsweise zwischen 475 J/K und 1500 J/K , zwischen 200 J/K und 2000 J/K oder zwischen 50 J/K und 3000 J/K liegt. Auch ist klar, dass der thermische Pufferspeicher 32 einen Druckverlust aufweisen kann, der bezogen auf eine

Wärmeleistung des Abhitzedampferzeugers 20 von 200 MW beispielsweise unter 5 Pa, unter 500 Pa oder unter 5000 Pa liegt.

Im stationären Betrieb hat der thermische Pufferspeicher 32, abgesehen vom Druckverlust, keine Wirkung auf den Kraftwerksprozess, da das Speichermaterial die selbe Temperatur wie der Materiestrom hat und damit kein Wärmetübergang und kein Be- oder Entladen des thermischen Pufferspeichers 32 stattfindet. Bei Lastwechseln jedoch, vor allem bei Hoch-, An-, Runter- und Abfahrvorgängen ändert sich die Temperatur des Materiestroms am Gasturbinenaustritt sehr schnell. Durch das dabei entstehende Temperaturgefälle zwischen Speichermaterial und Materiestrom findet ein Wärmeaustausch zwischen dem thermischen Pufferspeicher 32 und dem Materiestrom statt. Dieser Wärmeaustausch bewirkt eine Verlangsamung der Temperaturänderung des Abhitzedampferzeugers 32. Der thermische Pufferspeicher 32 wirkt vom Prinzip her somit wie eine thermische Trägheit gegenüber Temperaturveränderungen des Abhitzedampferzeugers 32.

Dies ist insbesondere deshalb relevant, da hohe Temperaturgradienten im Abhitzedampferzeuger 32 zu hohen thermischen Spannungen und damit zu Schäden beispielsweise in der Dampftrommel 22, dem Überhitzer 34, dem Dampfsammler des Überhitzers 34, sowie in der Frischdampfleitung und der Turbine führen können. Durch die Integration des hier beschriebenen thermischen Pufferspeichers 32 können diese Schäden vermieden werden, da die Pufferwirkung des thermischen Pufferspeichers 32 die Schädigung der Dampftrommel 22 und des Überhitzers 34 auch bei schnelleren Temperaturänderungen am Turbinenaustritt wirkungsvoll verhindert.

Das Funktionsprinzip des thermischen Pufferspeichers 32 ist in Fig. 2a am Beispiel eines beschleunigten Warmstartvorgangs der Turbine 12 dargestellt. Der thermische Pufferspeicher 32 hat zu Beginn des Startvorgangs eine Temperatur von 220 °C. Diese Temperatur ist eine gängige Temperatur im Abhitzedampferzeuger 20 bei Warmstartvorgängen oder nach Warmhaltung des Abhitzedampferzeugers 20. Der Startvorgang der Turbine 12 ist so ausgelegt, dass die Turbine 12 binnen 15 min Nennleistung erreicht.

Die durchgezogene schwarze Kurve in Fig. 2a stellt den Wärmestrom am Austritt aus der Turbine 12 dar. Die gestrichelte Kurve stellt den Wärmestrom am Austritt aus dem

thermischen Pufferspeicher 32 dar. Zu erkennen ist, dass die gestrichelte Kurve, welche den Wärmestrom am Austritt aus dem thermischen Pufferspeicher 32 darstellt, gegenüber der durchgezogenen Kurve, welche den Wärmestrom am Austritt aus der Turbine 12 darstellt, durch die Beladung des thermischen Pufferspeichers 32 mit Wärmeenergie deutlich abgeflacht ist. Die Kurve der des Wärmestroms am Austritt aus dem thermischen Pufferspeicher 32 entspricht somit einer Kurve, wie sie ohne thermischen Pufferspeicher 32 nur bei einem deutlich langsameren Anfahren der Turbine 12 erreicht worden wäre (durchgezogen hellgrau dargestellt in Fig. 2a). Fig. 2b zeigt das gleiche Bild für einen Kaltstartvorgang. Dabei weist der Speicher zu Beginn des Anfahrvorgangs eine Temperatur von 60 °C auf.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers 32 zwischen Turbine 12 und Abhitzedampferzeuger 20 des Kraftwerks 10. Dabei sind die Leitungen, welche den Materiestrom von der Turbine 12 zu dem thermischen Pufferspeicher 32 und von dem thermischen Pufferspeicher 32 zu dem Abhitzedampferzeuger 20 führen, komplett geschlossen ausgeführt. Das heißt insbesondere, dass die Leitungen keine Abzweigungen oder regelbar verschließbare Klappen aufweisen. Das bedeutet, dass der Materiestrom immer vollständig durch den thermischen Pufferspeicher 32 geführt wird. Dadurch entfällt in diesem Fall jegliche aufwändige Regelungstechnik.

Als Alternative zu der in Fig. 3 gezeigten Einkopplung zeigt Fig. 4 eine schematische Darstellung einer seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers 32 zwischen Turbine 12 und Abhitzedampferzeuger 20 des Kraftwerks 10 mit einer oder mehreren zusätzlichen Überbrückungsleitungen 40, 40'. In dieser Alternative ist der thermische Pufferspeicher 32 nur während des Anfahrvorgangs seriell zwischen Turbine 12 und Abhitzedampferzeuger 20 eingekoppelt, wie es in Fig. 4 durch die gestrichelte Linie angedeutet wird. Im auf den Anfahrvorgang folgenden Betrieb wird der Materiestrom durch die Überbrückungsleitung von der Turbine 12 zum Abhitzedampferzeuger 20 geführt. Dadurch wird in diesem Fall der Druckverlust durch den thermischen Puffer 32 während des auf den Hoch- bzw. Anfahrvorgang folgenden Betriebs reduziert.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung der seriellen Einkopplung des thermischen Pufferspeichers 32 zwischen Turbine 12 und Abhitzedampferzeuger 20 des Kraftwerks 10

wie in Fig. 3, allerdings mit einem zusätzlichen Rohrkreislauf 42 zum Warmhalten des Abhitzedampferzeugers 20. Der Rohrkreislauf 42 zum Warmhalten des Abhitzedampferzeugers 20 ist mit einem Fluid gefüllt, beispielsweise Wasser, und wird aktiviert, nachdem der Materiestrom von der Turbine 12 zum Abhitzedampferzeuger 20 auf Grund des Runterfahrens der Turbine 12 zum Erliegen kommt.

Durch den Rohrkreislauf 42 wird dem Abhitzedampferzeuger 20 Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher 32 zugeführt, um ein zu schnelles Auskühlen des Abhitzedampferzeugers 20 zu verhindern und/oder die Temperatur des Abhitzedampferzeugers 20 oberhalb einer Warmstarttemperatur zu halten. Dazu ist der Rohrkreislauf 42 über einen ersten Wärmetauscher mit dem thermischen Pufferspeicher 32 gekoppelt und über einen zweiten Wärmetauscher mit dem Abhitzedampferzeuger 20 gekoppelt.

Wenn die Turbine 12 nicht in Betrieb ist, kann über die Turbine 12, oder über ein zusätzliches, parallel zur Turbine 12 angeordnetes Gebläse Umgebungsluft durch den thermischen Pufferspeicher 32 geblasen werden. Diese Luft wird dort erwärmt, der Pufferspeicher 32 entladen und die Wärme kann im Abhitzedampferzeuger 20 auf den Wasserdampfkreis übertragen und genutzt werden. Der Luftmassenstrom kann auch so gewählt werden, dass die an den Abhitzedampferzeuger 20 übertragene Wärme genau den Wärmeverlusten des Abhitzedampferzeugers 20 an die Umgebung entspricht und dieser somit über einen längeren Zeitraum auf konstanter Temperatur gehalten wird, beispielsweise 6 h, 12 h oder 24 h. Gemäß Norm muss dieser Vorgang vor jedem Anfahren mit dem 3-fachen Kesselvolumen durchgeführt werden (Kesselspülung). Vorzugsweise erfolgt diese Kesselspülung über den thermischen Pufferspeicher 32, wodurch ein Auskühlen des Kessels beim Spülen verhindert wird.

Wie in Fig. 6 gezeigt kann der thermische Pufferspeicher 32 eine matrixförmige Anordnung einer Vielzahl von Platten, insbesondere einer Vielzahl von Metallplatten 44, 46 umfassen. Der thermische Pufferspeicher 32 kann ferner eine Ummantelung (nicht gezeigt) umfassen, welche die matrixförmige Anordnung an einer Vielzahl von Seiten umschließt, so dass der thermische Pufferspeicher 32 zwei (gegenüberliegende) Öffnungen aufweist. Die Vielzahl der Metallplatten 44, 46 können in eine Vielzahl erster Metallplatten 44, die parallel zueinander

angeordnet sind, und eine Vielzahl zweiter Metallplatten 46, die jeweils rechtwinklig zu den ersten Metallplatten 44 angeordnet sind, unterteilt sein. Der thermische Pufferspeicher 32 kann Quader- oder Kubus-förmig ausgebildet sein. Insbesondere können die ersten Metallplatten 44 horizontal übereinander gestapelt und die zweiten Metallplatten 46 vertikal
5 nebeneinander angeordnet sein, wie in Fig. 6 gezeigt. Allerdings ist die vorliegende Erfindung nicht auf Quader- oder Kubus-förmige thermische Pufferspeicher 32 beschränkt, da beispielsweise auch zylinder-förmige oder unregelmäßig geformte thermische Pufferspeicher 32 verwendet werden können. Ferner können anstatt einer rechtwinkligen Ausrichtung der ersten Metallplatten 44 und zweiten Metallplatten 46 zueinander auch Ausrichtungen
10 zueinander in Betracht gezogen werden, die andere Winkel einschließen, bspw. 45°-Winkel.

Die Metallplatten 44, 46 können so angeordnet sein, dass durch thermische Ausdehnung zwischen den Metallplatten 44, 46 keine Spannungen entstehen. Insbesondere können die Metallplatten 44, 46 so angeordnet sein, dass sie gleitend aneinander angelagert sind. Beispielsweise können die Metallplatten 44, 46 anstatt miteinander verschweißt oder in
15 anderer Form fest verbunden zu sein, geschlitzt und ineinander gesteckt sein, wie in der rechten Hälfte von Fig. 6 beispielhaft für eine erste Metallplatte 44 und eine zweite Metallplatte 46 dargestellt, um eine freie Wärmedehnung der einzelnen Metallplatten 44, 46 zu ermöglichen. Insbesondere können, die ersten Metallplatten 44 jeweils mit einer Vielzahl parallel verlaufender Schlitz versehen sein, wobei jeder Schlitz dazu eingerichtet und
20 vorgesehen ist eine zweite Metallplatte 46 aufzunehmen, indem die zweite Metallplatte 46 in einen Schlitz der ersten Metallplatte 44 eingeschoben wird. Die Metallplatten 44, 46 können an einer Seite der Anordnung fest gelagert sein, so dass entsprechende Enden der Metallplatten 44, 46 bei Ausdehnung der selbigen in ihrer Position verbleiben. Ferner können mehrere oder alle Seiten der Anordnung beweglich gelagert sein.

25 Durch die in Fig. 6 gezeigte Anordnung der Metallplatten 44, 46 entsteht eine Vielzahl paralleler rechteckigen Kanäle. Die Kantenlängen a und b der Kanäle können gleich oder unterschiedlich sein und beispielsweise jeweils im Bereich von 2 bis 20 cm liegen. Die Plattendicken d und e können ebenfalls gleich oder unterschiedlich sein und beispielsweise jeweils im Bereich zwischen 1 bis 20 mm liegen. Der thermische Pufferspeicher 32 kann in
30 Strömungsrichtung des Abgases (Richtung der Länge L) mehrere Abschnitte (der matrixförmigen Anordnung) aufweisen, die beispielsweise Längen L von 10 cm bis 10 m

haben. Die Abschnitte können mit geringem Abstand zwischen den Abschnitten (der jedoch ausreichend groß sein muss um die Wärmedehnung der Abschnitte auszugleichen) im Rauchgaskanal angeordnet sein, ohne miteinander verbunden zu sein. Die Anzahl der Kanäle in der Matrix, sowie die Gesamtanzahl der Abschnitte können auf das Einsatzprofil des thermischen Pufferspeichers 32 und das lokale Platzangebot für den thermischen Pufferspeicher abgestimmt sein.

BEZUGSZEICHENLISTE

	10	Kraftwerk
	12	Turbine
5	14	Verdichter
	16	Generator
	18	Brennkammer
	20	Abhitzedampferzeuger
	22	Dampftrommel
10	24	Dampfturbine
	26	Generator
	28	Kondensator
	30	Kamin
	32	Thermischer Pufferspeicher
15	34	Überhitzer
	36	Verdampfer
	38	Economizer
	40	Überbrückungsleitung
	40'	Überbrückungsleitung
20	42	Rohrkreislauf
	44	Metallplatte
	46	Metallplatte

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Begrenzung der Änderung eines durch einen Materiestrom von einer Turbine (12) zu einem Abhitzedampferzeuger (20) induzierten Wärmestroms in einem Kraftwerk (10), bei dem:

der Materiestrom von der Turbine (12) durch einen thermischen Pufferspeicher (32) zu dem Abhitzedampferzeuger (20) geführt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

das Führen des Materiestroms durch den thermischen Pufferspeicher (32) während eines Hoch- oder Anfahrvorgangs und/oder eines Herunter- oder Abfahrvorgangs der Turbine (12) stattfindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Materiestrom während mindestens 25%, vorzugsweise mindestens 50% und besonders vorzugsweise 100% der Dauer des Hoch- oder Anfahrvorgangs der Turbine (12) kontinuierlich durch den thermischen Pufferspeicher (32) geführt wird, und der Hoch- oder Anfahrvorgang abgeschlossen ist, wenn die Turbine (12) eine vorbestimmte Leistungsstufe erreicht hat, in der die Turbine (12) für mindestens 10 min, vorzugsweise für mindestens 30 min und besonders vorzugsweise für mindestens 60 min verbleibt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die vorbestimmte Leistungsstufe nicht weniger als 25% der Nennleistung, vorzugsweise nicht weniger als 50% der Nennleistung, besonders vorzugsweise nicht weniger als 75% der Nennleistung beträgt, und der Hoch- oder Anfahrvorgang der Turbine (12) nicht länger als 30 min, vorzugsweise nicht länger als 15 min dauert.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers (32) so auf die Turbine (12) abgestimmt ist, dass der

Anstieg des Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers (32) gegenüber dem Anstieg am Austritt der Turbine (12) derart verzögert wird, dass der Wärmestrom am Ausgang des thermischen Pufferspeichers (32) am Ende des Hoch- oder Anfahrvorgangs der Turbine (12) mehr als 20%, vorzugsweise mehr als 40% und besonders vorzugsweise mehr als 60%, aber nicht mehr als 90%, vorzugsweise nicht mehr als 80% und besonders vorzugsweise nicht mehr als 70% des Wertes am Austritt der Turbine (12) erreicht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers (32) so auf die Turbine (12) abgestimmt ist, dass der Betrag des Gradienten des Wärmestromes am Ausgang des thermischen Pufferspeichers (32) derart gedämpft wird, dass der Betrag des Gradienten des Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers (32) während des Hoch- oder Anfahrvorgangs oder während des Herunter- oder Abfahrvorgangs im Durchschnitt kleiner als 5 %/min, vorzugsweise kleiner als 2 %/min und besonders vorzugsweise kleiner als 1 %/min ist, wobei sich die Prozentangaben auf den Wärmestrom bei Nennleistung beziehen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers (32) gleich $\alpha \cdot \text{thermische Nennleistung des Abhitzedampferzeugers} \cdot \frac{s}{K}$ ist, wobei α größer 1×10^{-3} und vorzugsweise größer als 1×10^{-2} und kleiner als 1×10^3 und vorzugsweise kleiner als 1×10^2 ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Kraftwerk (10) ein GuD-Kraftwerk ist und der Materiostrom Rauchgas ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Kraftwerk (10) Leitungen aufweist, welche den Materiostrom von der Turbine (12) zu dem thermischen Pufferspeicher (32) und von dem thermischen Pufferspeicher (32) zu dem Abhitzedampferzeuger (20) führen, wobei die Leitungen keine Abzweigungen und/oder keine regelbar verschließbaren Klappen aufweisen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit den weiteren Schritten:

Bestimmen, dass der thermische Pufferspeicher (32) eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat; und

Führen des Materiestroms durch eine parallel zu dem thermischen Pufferspeicher (32) angeordnete Überbrückungsleitung (40), wobei ein Druckverlust durch die Überbrückungsleitung (40) kleiner ist, als ein Druckverlust durch den thermischen Pufferspeicher (32).

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die vorbestimmte Temperatur eine Betriebstemperatur des thermischen Pufferspeichers (32) bei Nennleistung des Kraftwerks (10) ist und der Druckverlust durch die Überbrückungsleitung (40) weniger als 75%, vorzugsweise weniger als 50% des Druckverlusts durch den thermischen Pufferspeicher (32) beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit den weiteren Schritten:

Herunterfahren der Turbine (12); und

Zuführen von Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher (32) an den Abhitzedampferzeuger (20), vorzugsweise durch Führen von Umgebungsluft von der Turbine (12) oder von einem zusätzlichen, parallel zur Turbine (12) angeordneten Gebläse durch den thermischen Pufferspeicher (32) zum Abhitzedampferzeuger (20).

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Kraftwerk (10) einen mit einem Fluid gefüllten Rohrkreislauf (42) umfasst, welcher über einen ersten Wärmetauscher mit dem thermischen Pufferspeicher (32) gekoppelt ist und über einen zweiten Wärmetauscher mit dem Abhitzedampferzeuger (20) gekoppelt ist.

13. Kraftwerk (10), umfassend:

eine Turbine (12);

einen thermischen Pufferspeicher (32); und

einen Abhitzedampferzeuger (20);

wobei im Betrieb Wärmeenergie mittels eines Materiestroms von der Turbine (12) durch den thermischen Pufferspeicher (32) zum Abhitzedampferzeuger (20) geführt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers (32) gleich $\alpha \cdot \text{thermische Nennleistung des Abhitzedampferzeugers} \cdot \frac{s}{K}$ ist, wobei α größer als 1×10^{-3} und vorzugsweise größer als 1×10^{-2} und kleiner als 1×10^3 und vorzugsweise kleiner als 1×10^2 ist.

14. Kraftwerk (10), umfassend:

eine Turbine (12);

einen thermischen Pufferspeicher (32); und

einen Abhitzedampferzeuger (20);

wobei im Betrieb Wärmeenergie mittels eines Materiestroms von der Turbine (12) durch den thermischen Pufferspeicher (32) zum Abhitzedampferzeuger (20) geführt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmekapazität des thermischen Pufferspeichers (32) so auf die Turbine (12) abgestimmt ist, dass für den Fall, dass die Turbine (12) aus einem Kaltstart innerhalb von 10 min bis 30 min auf Nennlast hochgefahren wird, ein Anstieg eines Wärmestroms am Ausgang des thermischen Pufferspeichers (32) derart verzögert wird, dass dieser frühestens nach 30 min, vorzugsweise frühestens nach 60

min und besonders vorzugsweise frühestens nach 120 min 90% des Gleichgewichtswertes in J/s erreicht.

15. Kraftwerk (10) nach Anspruch 13 oder 14, wobei das Kraftwerk (10) ein GuD-Kraftwerk ist und der Materiestrom Rauchgas ist.
16. Kraftwerk (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei das Kraftwerk (10) Leitungen aufweist, welche den Materiestrom von der Turbine (12) zu dem thermischen Pufferspeicher (32) und von dem thermischen Pufferspeicher (32) zu dem Abhitzedampferzeuger (20) führen, wobei die Leitungen keine Abzweigungen und/oder keine regelbar verschließbaren Klappen aufweisen.
17. Kraftwerk (10) nach Anspruch 13 bis 15, wobei das Kraftwerk (10) eine oder mehrere parallel zu dem thermischen Pufferspeicher (32) angeordnete Überbrückungsleitungen (40) aufweist, welche dazu eingerichtet sind, den Materiestrom zu führen, wenn der thermische Pufferspeicher (32) eine vorbestimmte Temperatur erreicht hat, wobei ein Druckverlust durch die eine oder die mehreren Überbrückungsleitungen (40) kleiner ist, als ein Druckverlust durch den thermischen Pufferspeicher (32).
18. Kraftwerk (10) nach Anspruch 17, wobei die vorbestimmte Temperatur eine Betriebstemperatur des thermischen Pufferspeichers (32) bei Nennleistung des Kraftwerks (10) ist und der Druckverlust durch die eine oder die mehreren Überbrückungsleitungen (40) weniger als 75%, vorzugsweise weniger als 50% des Druckverlusts durch den thermischen Pufferspeicher (32) beträgt.
19. Kraftwerk (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 18, wobei das Kraftwerk (10) ferner dazu eingerichtet ist, dem Abhitzedampferzeuger (20) beim zum Erliegen kommen des Materiestroms Wärmeenergie aus dem thermischen Pufferspeicher (32) zuzuführen, um ein zu schnelles Auskühlen des Abhitzedampferzeugers (20) zu verhindern und/oder die Temperatur des Abhitzedampferzeugers (20) oberhalb einer Warmstarttemperatur zu halten.

20. Kraftwerk (10) nach Anspruch 19, wobei das Kraftwerk (10) einen mit einem Fluid gefüllten Rohrkreislauf (42) umfasst, welcher über einen ersten Wärmetauscher mit dem thermischen Pufferspeicher (32) gekoppelt ist und über einen zweiten Wärmetauscher mit dem Abhitzedampferzeuger (20) gekoppelt ist.
21. Kraftwerk (10) nach einem der Ansprüche 13 bis 20, wobei der thermische Pufferspeicher (32) eine Vielzahl erster parallel angeordneter Platten (44) und eine Vielzahl zweiter parallel angeordneter Platten (46) aufweist, wobei die ersten Platten (44) und die zweiten Platten (46) eine Anordnung bilden, die eine Vielzahl paralleler Kanäle umfasst.

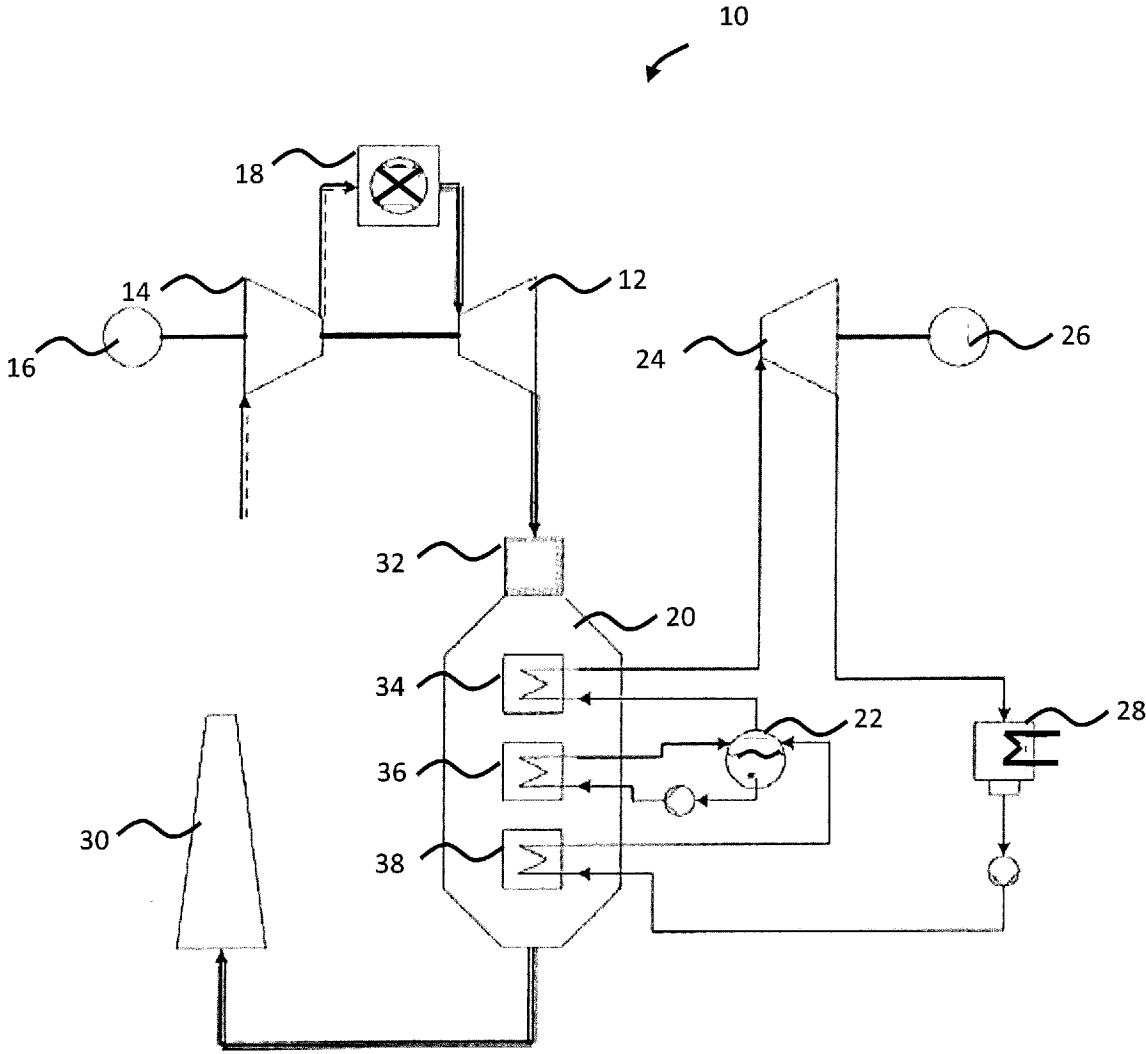


Fig. 1

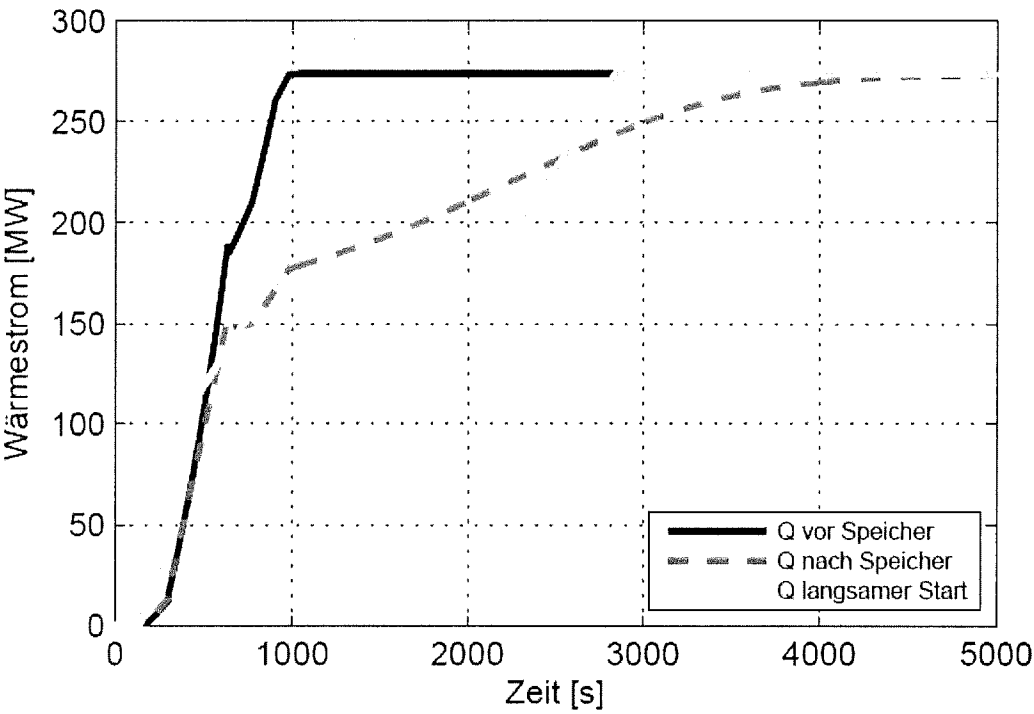


Fig. 2a

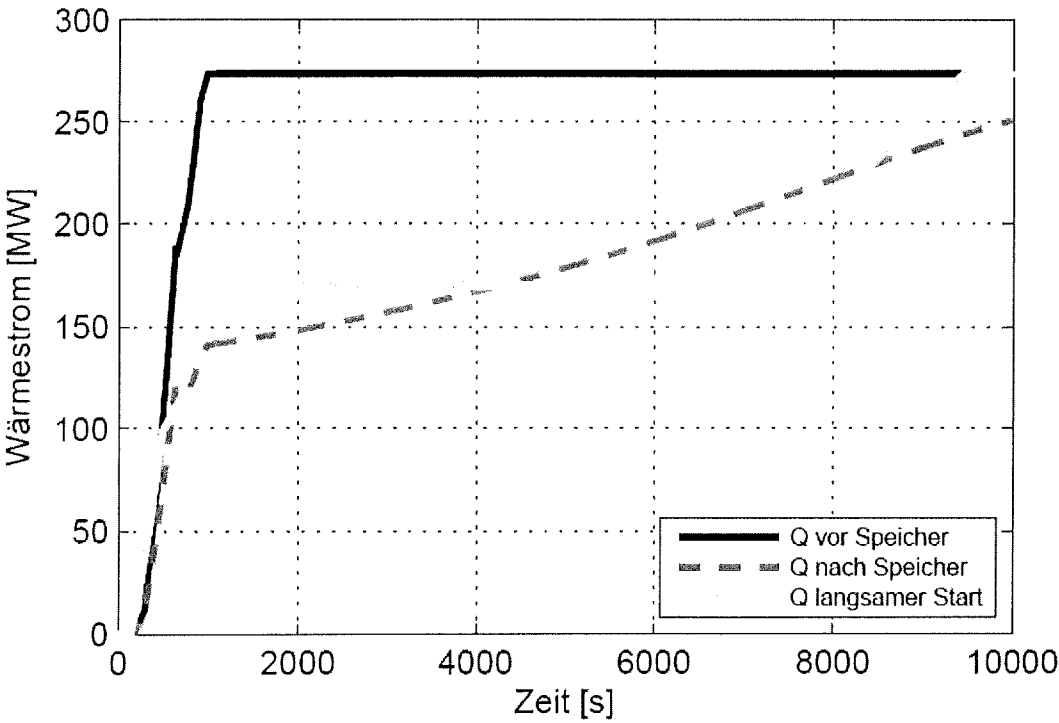


Fig. 2b

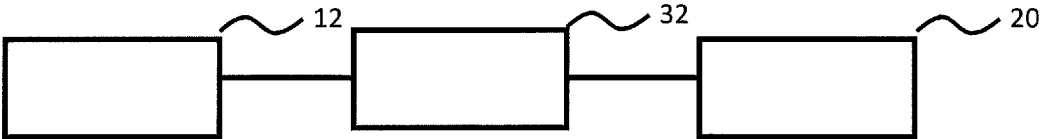


Fig. 3

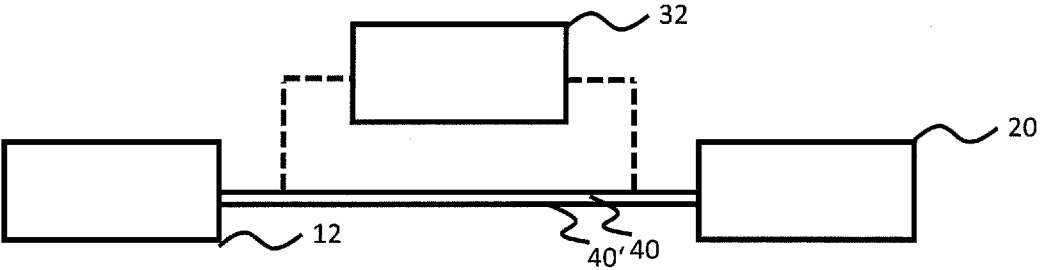


Fig. 4

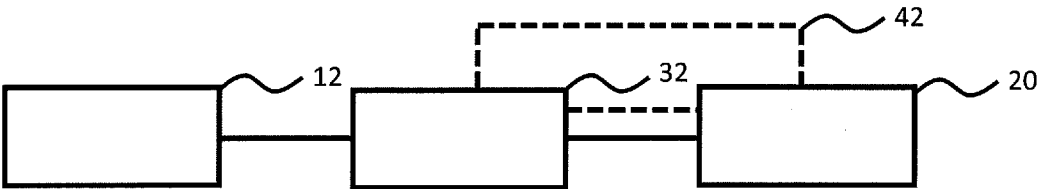


Fig. 5

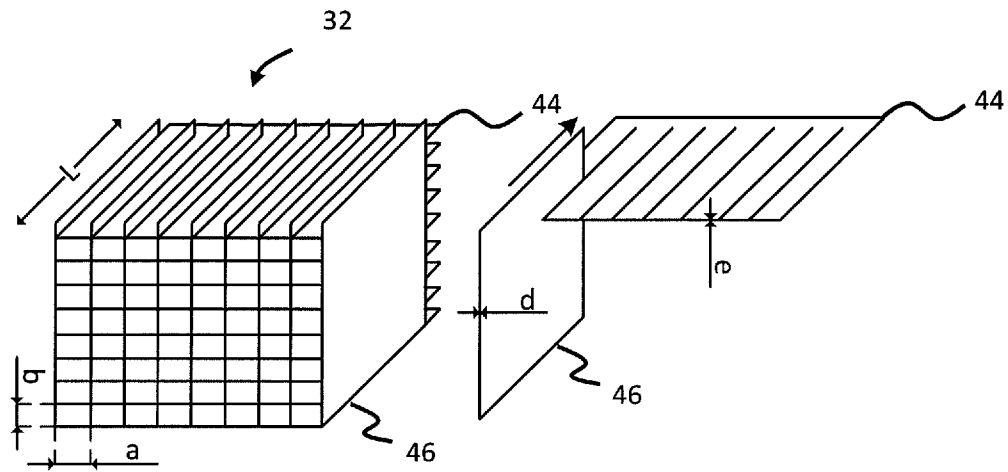


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/068465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01K23/10 F01K13/02 F01K3/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/150969 A1 (UNIV CITY NEW YORK RES FOUND [US]; SHINNAR SHLOMO [US]; SHINNAR MEIR []) 8 November 2012 (2012-11-08) cited in the application page 4, paragraph 3 - page 14, last line; claims; figures; table 1 abstract -----	1-21
A	DE 102 60 992 A1 (RIEDEL ERIK [DE]; KOENIG JOACHIM [DE]) 8 July 2004 (2004-07-08) cited in the application paragraph [0011] - paragraph [0045]; claims; figures abstract -----	1-21



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 October 2015

Date of mailing of the international search report

14/10/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zerf, Georges

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/068465

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2012150969	A1	08-11-2012	CA 2834938 A1 08-11-2012
			EP 2756170 A1 23-07-2014
			US 2014202157 A1 24-07-2014
			WO 2012150969 A1 08-11-2012

DE 10260992	A1	08-07-2004	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F01K23/10 F01K13/02 F01K3/02 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F01K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2012/150969 A1 (UNIV CITY NEW YORK RES FOUND [US]; SHINNAR SHLOMO [US]; SHINNAR MEIR []) 8. November 2012 (2012-11-08) in der Anmeldung erwähnt Seite 4, Absatz 3 - Seite 14, letzter Zeile; Ansprüche; Abbildungen; Tabelle 1 Zusammenfassung -----	1-21
A	DE 102 60 992 A1 (RIEDEL ERIK [DE]; KOENIG JOACHIM [DE]) 8. Juli 2004 (2004-07-08) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0011] - Absatz [0045]; Ansprüche; Abbildungen Zusammenfassung -----	1-21
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 2. Oktober 2015		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 14/10/2015
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Zerf, Georges

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/068465

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2012150969	A1	08-11-2012	CA	2834938 A1	08-11-2012
			EP	2756170 A1	23-07-2014
			US	2014202157 A1	24-07-2014
			WO	2012150969 A1	08-11-2012

DE 10260992	A1	08-07-2004	KEINE		
