



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.07.2019 Patentblatt 2019/29

(51) Int Cl.:
F01K 3/18 (2006.01) **F01K 7/16** (2006.01)
F01K 13/02 (2006.01) **F01K 1/04** (2006.01)
F01K 17/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18208619.9**

(22) Anmeldetag: **27.11.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Dreißigacker, Volker**
68163 Mannheim (DE)
• **Krüger, Michael**
71229 Leonberg (DE)
• **Zunft, Stefan**
70193 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **15.01.2018 DE 102018100712**

(74) Vertreter: **Fleck, Hermann-Josef**
Jeck & Fleck
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
51147 Köln (DE)

(54) **DAMPFKRAFTWERK UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES DAMPKRAFTWERKS**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Dampfkraftwerk, wie Braun- oder Steinkohlekraftwerk, mit einem Wasser-Dampf-Kreislauf (1), einer an einen Generator (7) für die elektrische Energieerzeugung angeschlossenen Turbinenanordnung (4) und einem thermischen Energiespeicherteil (5), der eine ein Wärmespeichermedium enthaltende Wärmespeichereinheit (50), eine Wärmeeinkopplungseinrichtung (6) sowie eine an den Wasser-Dampf-Kreislauf (1) oder einen Rauchgaspfad angeschlossene Entladeeinrichtung (51) aufweist. Eine hohe Flexibilität wird dadurch erreicht, dass die Wärmeeinkopplungseinrichtung (60) eine elektrische Aufwärmvorrichtung (60) aufweist, welche über eine elektrische Energiezufuhrvorrichtung (61) mit von dem Generator (7) erzeugter elektrischer Energie unter Steuerung oder Regelung mittels einer Prozesssteuerung beaufschlagbar ist (Fig.1).

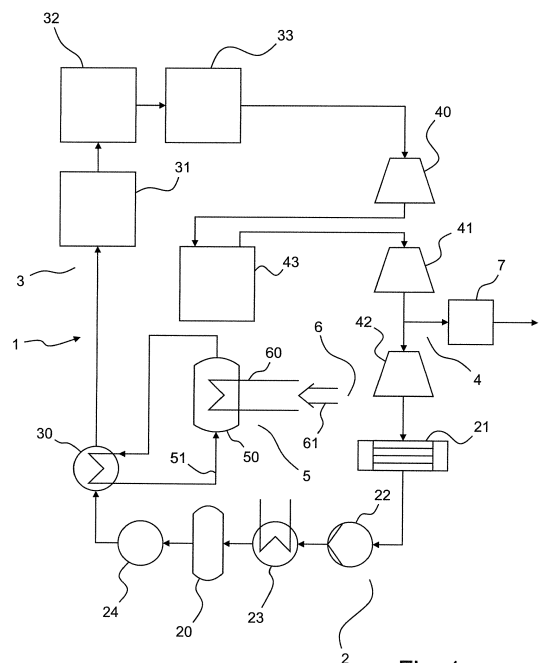


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Dampfkraftwerk, wie Braun- oder Steinkohlekraftwerk, mit einem Wasser-Dampf-Kreislauf, einer an einen Generator für die elektrische Energieerzeugung angeschlossenen Turbinenanordnung und einem thermischen Energiespeicherteil, der eine ein Wärmespeichermedium enthaltende Wärmespeichereinheit, eine Wärmeeinkopplungseinrichtung sowie eine an den Wasser-Dampf-Kreislauf oder einen Rauchgaspfad angeschlossene Entladeeinrichtung aufweist, und auf ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Dampfkraftwerks.

[0002] Ein Dampfkraftwerk und ein Verfahren dieser Art sind in der DE 10 2011 100 517 A1 angegeben. Hierbei ist ein Regelsystem zur Anpassung der Leistung einer Dampfturbine an eine veränderte Last im Rahmen einer Primärregelung mit einem Wärmespeicher versehen. Der Wärmespeicher entnimmt bei verringerter Last und dadurch erhöhter Menge von der Dampfturbine abgezapften Dampfs dem abgezapften Dampf Wärme und gibt bei erhöhter Last und dadurch entsprechend verringerter Menge von der Dampfturbine abgezapften Dampfs Wärme an einen Dampf-/Speisewasserkreislauf ab, der die Dampfturbine versorgt. Daneben ist als denkbar angegeben, den Wärmespeicher gesondert zu beheizen, sofern nicht Abwärme zur Verfügung steht, z. B. auch elektrisch in Zeiten eines Stromüberangebots. Die elektrische Beheizung des Wärmespeichers wirkt sich dabei nicht auf die Primärregelung an sich aus. Insgesamt beruht das Regelsystem auf der Variation der abgezapften Dampfmenge in Verbindung mit der Zwischenspeicherung von Wärme. Die Änderung der Leistung der Kraftwerksdampfturbine über die Höhe der abgezapften Dampfmenge ergibt einen beschränkten Spielraum für die Leistungsanpassung. Auch erfordert die konstruktive Ausgestaltung des Regelsystems nicht geringen Aufwand.

[0003] In der DE 10 2012 204 081 A1 ist ein Energiespeicherkraftwerk zur elektrischen Stromgewinnung offenbart, welches zur Überführung von elektrischer Energie in thermische Energie geeignet ist, wobei die thermische Energie bis zu einem Zeitpunkt des Bedarfs in wenigstens zwei thermischen Speichern zwischengespeichert werden kann und bei Bedarf zur Erhöhung des Energiegehalts von Wasser in einem Wasserkreislauf abgerufen werden kann. Dabei ist ein thermischer Speicher zur Speicherung von fühlbarer Wärme und ein thermischer Speicher zur Speicherung von Latentwärme vorgesehen. Dieses Energiespeicherkraftwerk und das dabei angewandte Verfahren macht sich zu Nutzen, dass elektrische Energie, die bei Zeiten der Überschussproduktion von elektrischer Energie relativ kostengünstig erworben werden kann, in thermische Energie überführt werden kann, die in geeigneter Weise in dem Energiespeicherkraftwerk zwischengespeichert wird, und bei Bedarf erneut der Stromerzeugung zugeführt werden kann. Zur Aufladung der beiden thermischen Speicher

muss bei Bedarf elektrische Energie aus einem elektrischen Versorgungskreislauf, also etwa dem öffentlichen Stromnetz, entnommen werden, die dann mittels einer oder mehrerer geeigneter Wandelvorrichtungen in thermische Energie überführt wird. Mit diesen Maßnahmen ist eine schnelle flexible Anpassung an geänderte Netzlasten in praktisch erforderlichem Umfang kaum zu erreichen, denn insbesondere bei der thermischen Entladung ist ein Hochfahren des trägen Wärme-Kraftprozesses notwendig, wodurch kein dynamischer Betrieb erreicht werden kann.

[0004] Die DE 10 2012 003 267 A1 zeigt verschiedene Wärmespeicher mit elektrischen Heizvorrichtungen, die auch im Zusammenhang mit einer Dampfkraftwerksanlage einsetzbar sind. Mittels des Wärmespeichers sollen kurzzeitig hohe Überschuss-Strommengen gespeichert werden können, um diese zu einem späteren Zeitpunkt über einen längeren Zeitabschnitt wieder abgeben zu können. Auch solche Vorkehrungen sind unzureichend, um hohe Flexibilitätsanforderungen bei der Anpassung an angeforderte Leistungen zu erfüllen.

[0005] In den genannten DE 10 2012 204 081 A1 und DE 10 2012 003 267 A1 werden Energiespeicherkraftwerke vorgestellt, die grundsätzlich darauf basieren, dass elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz während der Beladung genutzt wird, um thermische Energiespeicher zu erwärmen. Während der Entladung wird die gespeicherte thermische Energie verwendet, um einen Wärmekraftprozess (in der DE 10 2012 204 081 A1 ein Wasser-Dampf-Prozess; in der DE 10 2012 003 267 A1 ein spezifizierter, nur abstrakt durch den Carnot-Wirkungsgrad beschriebener Prozess) zu betreiben und somit wieder elektrische Energie in das öffentliche Netz zu speisen. Dabei geht es grundsätzlich um neu zu bauende Energiespeicherkraftwerke, die elektrische Energie aus dem/in das öffentliche/n Netz übertragen, und nicht um die Ertüchtigung vorhandener Kohlekraftwerke. Die bei der Entladung der Energiespeicherkraftwerke laufenden Wärmeprozesse sind dabei durch thermische Trägheit der Komponenten begrenzt, wobei der Prozess nur während der Entladephase betrieben wird.

[0006] In der CH 196 041 A ist eine Einbindung von Wärmespeichern bei Dampfkraftanlagen gezeigt, wobei eine Aufspeicherung von Dampf in einem Ruths-Speicher genannt ist.

[0007] Weiterhin sind ein Dampfkraftwerk und ein Verfahren aus der DE 10 2011 078 193 A1 bekannt. Bei diesem Dampfkraftwerk wird an einer Turbinenanordnung ein höherenergetischer Dampf angezapft und einem an der Turbinenanordnung angezapften niederenergetischen Dampf zugemischt. Das Dampfgemisch wird einem Vorwärmer, insbesondere einem Hochdruckvorwärmer des Dampfkraftwerks zur Erwärmung eines durch den Vorwärmer strömenden Speisewassers zugeführt. Durch die geregelte oder gesteuerte Zumischung des höherenergetischen Dampfs zu dem niederenergetischen Dampf soll eine schnelle Leistungsänderung bei dem Dampfkraftwerk bewirkt werden.

[0008] Bei einem in der WO 2013/000838 A2 vorgestellten weiteren Dampfkraftwerk und Verfahren zu dessen Betrieb werden zur schnellen oder temporären Leistungssteigerung Hilfsdampfverbraucher des Dampfkraftwerks beim An- oder Abfahren desselben mit Hilfsdampf aus einem Hilfsdampferzeuger versorgt. Bei einer Leistungsanforderung an das Dampfkraftwerk wird der Hilfsdampf in den Wasser-Dampf-Kreislauf des Dampfkraftwerks eingespeist, dadurch eine Turbine des Dampfkraftwerks mit zusätzlichem Dampf versorgt und die Leistung des Dampfkraftwerks sofort, schnell oder temporär gesteigert. In der DE 10 2012 215 569 A1 ist zur schnellen Wirkleistungsänderung von Dampfkraftwerksanlagen vorgeschlagen, im Wasser-Dampf-Arbeitskreislauf einen Dampfanteil als Prozessenergie für eine CO₂-Abschalteneinrichtung abzuzweigen, wobei in der Abzweigung oder einer nachfolgenden Dampfentnahmeleitung eine einstellbare Armatur zur schnellen Erhöhung und Reduzierung des abgezweigten Dampfanteils vorgesehen ist.

[0009] Weitere Dampfkraftwerke und Verfahren zum Betreiben derselben sind in der DE 10 2011 078 205 A1, der WO 2009/100881 A2 und der DE 10 2015 109 898 A1 gezeigt.

[0010] Im Zuge des zunehmenden Ausbaus erneuerbarer Energie kommt der Flexibilitätssteigerung konventionell betriebener Kraftwerkstypen, insbesondere Dampfkraftwerken wie Braun- oder Steinkohlekraftwerken, eine erhöhte Bedeutung zu.

[0011] Von solchen Anforderungen ausgehend, liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Dampfkraftwerk, insbesondere Braun- oder Steinkohlekraftwerk, sowie ein Verfahren zu dessen Betrieb in der Weise auszugestalten, dass eine möglichst effiziente Flexibilitätssteigerung erreicht wird.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein Dampfkraftwerk mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hierbei ist vorgesehen, dass die Wärmeeinkopplungseinrichtung eine elektrische Aufwärmvorrichtung aufweist, welche über eine elektrische Energiezufuhrvorrichtung mit von dem Generator erzeugter, ausgangsseitig an diesem abgenommener elektrischer Energie unter Steuerung oder Regelung mittels einer Prozesssteuerung beaufschlagbar ist.

[0013] Hinsichtlich der Betriebsweise wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 5 gelöst, wobei vorgesehen ist, dass die dem thermischen Energiespeicherteil zugeführte Wärmeenergie mittels einer elektrischen Aufwärmvorrichtung erzeugt wird, wobei die der Aufwärmvorrichtung zugeführte elektrische Leistung der von dem Dampfkraftwerk erzeugten elektrischen Leistung ausgangsseitig an dem Generator entnommen wird.

[0014] Bei Untersuchungen der Erfinder hat sich als eine vielversprechende Lösung, die zunehmenden Flexibilitätsanforderungen für Braun- und Steinkohlekraftwerke (Kohlekraftwerke) zu erfüllen, herausgestellt, dass dafür die Integration von thermischen Energiespeichern

in den Kraftwerksprozess und deren Beheizung durch die am Ausgang des Generators abgenommene elektrische Leistung in Abhängigkeit von der angeforderten, in das Stromnetz einzuspeisenden elektrischen Leistung vorteilhaft ist. Dies ermöglicht durch die zeitliche Entkopplung von thermischer Energie und elektrisch erzeugter Arbeit an der Turbinenanordnung, d. h. an den in den Wasser-Dampf-Kreislauf eingebundenen Dampfturbinen, erhöhte Mindestlastabsenkungen und wesentlich verbesserte Lastgradienten im Vergleich zu konventionell betriebenen Kohlekraftwerken. Geeignete Integrationsorte zur Ein- und Auskopplung thermischer Energie in das und aus dem thermischen Speichersystem haben sich vorteilhaft im Wasser-Dampf-Kreislauf, aber auch im Rauchgaspfad des Dampferzeugers gefunden.

[0015] Bei Lastabsenkung, d. h. verringerter Einspeisung elektrischer Leistung in das Stromnetz, wird also dem thermischen Speichersystem mit dem Energiespeicher entsprechend mehr elektrische Leistung über die Aufwärmvorrichtung zugeführt, während bei Lasterhöhung, also erhöhter Leistungseinspeisung in das Stromnetz, dem thermischen Speichersystem mit dem Energiespeicher entsprechend weniger elektrische Leistung zugeführt wird, wobei die Steuerung bzw. Regelung der Leistungsverteilung, insbesondere auch des Betriebs der Aufwärmvorrichtung, über die Prozesssteuerung erfolgt. Während der Entladung (zu Zeiten eines hohen elektrischen Energiebedarfs im Netz) kann das Kohlekraftwerk sehr schnell elektrische Leistung bereitstellen, da es nicht abgeschaltet wurde, sondern weiterbetrieben wird und somit ein Anfahren des trägen Systems (Warm-/Kaltstart) umgangen wird. Zusätzlich ermöglicht die beim Beladen gespeicherte Elektrowärme - je nach Integrationsort - eine elektrische Leistungserhöhung beim Entladen, Einsparungen von Kohle und / oder ein kraftwerksinternes Wärmemanagement (Hilfsdampf oder dgl.).

[0016] Dabei werden durch die Erweiterung des thermischen Speichersystems durch die elektrische Aufwärmvorrichtung, d. h. eine leistungsstarke elektrische Heizung, eine hohe Flexibilitätssteigerung bei Lastabsenkungen, insbesondere auch Mindestlastabsenkung, und Lasterhöhungen sowie Dynamik erreicht, wobei sich eine hohe Effizienz ergibt und als weiterer Vorteil allenfalls geringe Integrationseffekte des thermischen Energiespeicherteils in den Kraftwerksprozess auftreten und sich somit wesentliche Vorteile für eine Nachrüstung bestehender Kohlekraftwerke ergeben. Die Integration des elektrisch beheizten Wärmespeichers ermöglicht so eine Fahrweise des Kohlekraftwerks unter konstanten Betriebsbedingungen, wodurch sich auch Vorteile in der Lebensdauer und der Effizienz ergeben. Die notwendige Flexibilität wird unter Nutzung des elektrisch beheizten Wärmespeichers und durch das Nicht-Abfahren des Kohlekraftwerks bereitgestellt.

[0017] Dabei lassen sich durch die Ausgestaltung, dass die elektrische Aufwärmvorrichtung als Widerstandsheizvorrichtung oder als induktive Heizvorrich-

tung ausgebildet ist, leistungsstarke und effiziente Betriebsweisen mit hohen Wirkungsgraden erreichen.

[0018] Verschiedene vorteilhafte thermische Speichersysteme, die hohe Kapazitäts- und Leistungsanforderungen erfüllen, werden dadurch erhalten, dass der thermische Energiespeicherteil mit einem Ruths-Speicher, einem Feststoffspeicher oder einem Flüssigsalzspeicher versehen ist.

[0019] Vorteilhafte Integrationsorte, die bei der Einkopplung der thermischen Energie in das thermische Speichersystems eine hohe Mindestlastabsenkung und gleichzeitig bei der Auskopplung der thermischen Energie aus dem Speichersystem eine vergleichbare Leistungserhöhung des Dampfkraftwerks ermöglichen, ergeben sich dadurch, dass die Entladeeinrichtung in einem Dampferzeugerabschnitt, insbesondere an einem Hochdruckvorwärmer, oder in einem Speisewasserteil, insbesondere an einem Niederdruckvorwärmer, angeschlossen ist. Diese Integrationsorte des Speichersystems erlauben mit einem hohen Wirkungsgrad sowohl eine effiziente Reduktion als auch Erhöhung der von dem Dampfkraftwerk für äußere Verbraucher bereitgestellten elektrischen Leistung und somit erhebliche Flexibilitätssteigerungen zur Lastabsenkung beziehungsweise Lasterhöhung. Zudem erlauben die genannten Integrationsorte eine rückkopplungsarme Einbindung des thermischen Speichersystems in den komplexen Kraftwerksprozess und ergeben somit keine beziehungsweise vernachlässigbare Einflüsse auf die betrieblichen Einsatzgrenzen zentraler Kraftwerkskomponenten, wie Dampfkessel, Turbinen und dergleichen. Die Integrationsorte ergeben Lösungen, die zu lediglich relativ geringen Verschiebungen der Betriebsbedingungen (z. B. Druck, Temperatur) im Kraftwerksprozess führen, somit eine erweiterte betriebliche Verfügbarkeit sichern, und gleichzeitig hohe Flexibilitätssteigerungen erreichen lassen.

[0020] Entsprechende Vorteile ergeben sich bei dem Verfahren dadurch, dass die Wärmeenergie bei dem Entladevorgang in einem Dampferzeugungsabschnitt, insbesondere in einem Hochdruckvorwärmer, und in einem Speisewasserteil, insbesondere einem Niederdruckvorwärmer, des Wasser-Dampf-Kreislaufs zugeführt wird.

[0021] Weitere Vorteile beim Betreiben des Dampfkraftwerks bestehen darin, dass durch den Entladevorgang eine gegenüber einer Normallast zusätzliche elektrische Leistung abgegeben wird, indem durch die Entladung der Wärmeenergie in den Wasser-Dampf-Kreislauf ein erhöhter Dampfmassenstrom durch eine Reduktion des Anzapfdampfmassenstroms und damit in einer in diesem befindlichen Turbinenanordnung ein erhöhter Volumenstrom erzeugt wird.

[0022] Zu einer vorteilhaften Betriebsweise tragen ferner die Maßnahmen bei, dass die Beladevorgänge und die Entladevorgänge von einer Prozesssteuerung in Abhängigkeit von vorgegebenen und/oder vorgebbaren Prozessparametern gesteuert oder geregelt werden, wobei übergeordnete Steuer- oder Regelgrößen einbeziehbar sind.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

5 Fig. 1 zeigt ein Prozessschema eines Wasser-Dampf-Kreislaufs eines Dampfkraftwerks mit einem eingebundenen thermischen Speichersystem.

10 **[0024]** Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Wasser-Dampf-Kreislauf 1 eines Dampfkraftwerks, wie insbesondere eines Braun- oder Steinkohlkraftwerks, mit darin angeordneten wesentlichen Prozesskomponenten. Mit dem Wasser-Dampf-Kreislauf 1 ist dabei ein thermisches Energiespeichersystem mit einem thermischen Energiespeicherteil 5 verbunden. Als wesentliche Prozessabschnitte umfasst der Wasser-Dampf-Kreislauf 1, wie üblich, einen Speisewasserteil 2, einen diesem im Prozessablauf folgenden Dampferzeugerabschnitt 3 und eine mit erzeugtem Dampf betriebene Turbinenanordnung 4 zum Antrieb eines Generators 7 für die elektrische Energieerzeugung.

15 **[0025]** Der Speisewasserteil 2 ist eingangsseitig mit einem an die Ausgangsseite der Turbinenanordnung 4 angeschlossenen Kondensator 21 versehen und weist im weiteren Verlauf eine Kondensatpumpe 22 sowie Niederdruckvorwärmer 23, einen Speisewasserbehälter 20 und eine Speisewasserpumpe 24 zum Bereitstellen des Speisewassers für den Dampferzeugerabschnitt 3 auf.

20 **[0026]** In dem Dampferzeugerabschnitt 3 sind, im Prozessschema weiter folgend, Hochdruckvorwärmer 30, ein Vorwärmer 31, ein Verdampfer 32 und ein Überhitzer 33 angeordnet, um Hochdruckdampf für die Turbinenanordnung 4 zu erzeugen.

25 **[0027]** Die Turbinenanordnung 4 umfasst bezüglich des Prozessablaufs eingangsseitig eine Hochdruckturbine 40, eine anschließende Mitteldruckturbine 41 und eine ausgangsseitige Niederdruckturbine 42. Zwischen der Hochdruckturbine 40 und der Mitteldruckturbine 41 ist ein Zwischenüberhitzer 43 für den Prozessdampf angeordnet. Die Turbinenanordnung 4, die konstruktiv unterschiedlich ausgestaltet und mit verschiedenen Anzapfstellen versehen sein kann, wie an sich bekannt, wird durch den sie durchsetzenden Dampfmassenstrom rotierend angetrieben, um über den Generator 7 den von dem Dampfkraftwerk bereitzustellenden elektrischen Strom beziehungsweise die elektrische Leistung zu erzeugen und damit über ein Stromnetz angeschlossene Verbraucher zu versorgen.

30 **[0028]** Wie eingangs ausgeführt, muss dabei das Dampfkraftwerk flexibel auf unterschiedliche Leistungsanforderungen reagieren können, wobei der an sich relativ träge Prozess der Dampferzeugung hohen Flexibilitätsanforderungen entgegensteht.

35 **[0029]** Zur Flexibilitätssteigerung ist bei der erfindungsgemäßen Ausführung der thermische Energiespeicherteil 5 mit einer Wärmespeichereinheit 50 versehen, die eine mit einer elektrischen Aufwärmvorrichtung

ausgestattete Wärmeeinkoppelungseinrichtung 6 aufweist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Wärmespeichereinheit 50 ausgangsseitig über eine Entladeeinrichtung 51 mit dem Wasser-Dampf-Kreislauf 1 vorliegend im Bereich des Dampferzeugerabschnitts 3, und zwar an den Hochdruckvorwärmern 30, über einen Wärmetauscher angeschlossen. Die Wärmespeichereinheit 50 besitzt eine hohe Wärmespeicherkapazität und ist vorteilhaft z. B. mit einem Feststoffspeicher (Regenerator), Flüssigsalzspeicher oder einem Ruths-Speicher versehen.

[0030] Alternative Integrationsorte beziehungsweise Anordnungsmöglichkeiten für den thermischen Energiespeicherteil 5 bestehen in einer Entladung der Wärmeenergie in den Speisewasserteil 2, insbesondere den Niederdruckvorwärmern 23, in andere Stellen des Dampferzeugerabschnitts 3, oder auch in den (in der Fig. 1 nicht gezeigten) Rauchgaspfad sowie auch in Kombinationen dieser Integrationsorte. Die hierfür notwendigen thermischen Spezifikationen können durch eine geeignete Auslegung und Steuerung des thermischen Energiespeicherteils 5 erfüllt werden.

[0031] Eine erfindungswesentliche Ausgestaltung des Dampfkraftwerks besteht in einer besonderen Ausbildung der Wärmeeinkopplungseinrichtung 6 des thermischen Energiespeicherteils 5. Die Wärmeeinkopplungseinrichtung 6 weist gemäß Fig. 1 eine über eine elektrische Energiezuführung 61 mit elektrischer Energie versorgte Aufwärmvorrichtung 60 auf, mittels deren der Wärmespeichereinheit 50 Wärmeenergie zugeführt wird. Vorteilhaft wird dafür ein konduktives elektrisches Verfahren auf der Basis einer Widerstandserwärmung oder ein induktives elektrisches Verfahren angewandt. Die elektrische Wärmeenergiezuführung 61 wird dabei von der von dem Dampfkraftwerk erzeugten elektrischen Leistung gespeist, um die Wärmespeichereinheit 50 mit Wärmeenergie zu beladen. Die der elektrischen Aufwärmvorrichtung 60 zugeführte elektrische Leistung kann dabei mittels einer Prozesssteuerung gesteuert oder geregelt werden. Die Steuerung oder Regelung der ausgangsseitig an dem Generator 7 abgenommenen elektrischen Leistung kann beispielsweise in Abhängigkeit von in dem Kraftwerk vorgegebenen oder vorgebbaren Prozessparametern und/oder in Abhängigkeit von Steuer- oder Regelgrößen einer übergeordneten Netzwerksteuerung erfolgen.

[0032] Somit wird eine Lastabsenkung des Dampfkraftwerks bei einer Zuführung von elektrischer Leistung zu der elektrischen Aufwärmvorrichtung 60 beziehungsweise einer Zuführung von Wärmeenergie mit dem thermischen Energiespeicherteil 5, d. h. während einer Beladungsphase, erreicht, indem die in dem Dampfkraftwerk erzeugte elektrische Energie zur elektrischen Beheizung der Wärmespeichereinheit 50 beziehungsweise des thermischen Energiespeichers benutzt wird. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Dampferzeugung in dem Dampferzeugerabschnitt 3 weiter betrieben werden kann und eine hohe Mindest-

lastreduktion der von dem Dampfkraftwerk in das angeschlossene Stromnetz eingespeisten Leistung (bis auf eine Leistung von 0 W) möglich ist. Dadurch wird eine sehr hohe Flexibilität des Dampfkraftwerks erreicht und ein Herunterfahren der trägen Dampferzeugereinrichtung verhindert und somit auch ein aufwändiges Hochfahren des Dampferzeugungsprozesses, wie bei einem Warm- beziehungsweise Kaltstart.

[0033] Während einer Entladung der Wärmespeichereinheit 50 über die Entladeeinrichtung 51 in den Wasser-Dampf-Kreislauf 1 beziehungsweise den Rauchgaspfad, vorliegend also in die Hochdruckvorwärmer 30, wird die in der Wärmespeichereinheit 50 konservierte thermische Energie genutzt, um über den betreffenden Wärmeübertrager eine Hochdruck-Vorwärmung des Speisewassers zu bewirken. Die Einkopplung der Wärme zur Hochdruck-Vorwärmung erlaubt so während der Entladephase eine Reduktion einer Anzapfdampfmenge an den Dampfturbinen der Turbinenanordnung 4 und somit eine höhere elektrische Leistung durch einen höheren Dampfmassenstrom.

[0034] Das erfindungsgemäße Integrationskonzept ermöglicht somit in Dampfkraftwerken, insbesondere Kohlekraftwerken, eine hochflexible Reduktion der ausgangsseitigen elektrischen Last beziehungsweise abgegebenen elektrischen Leistung, die je nach Auslegung beziehungsweise Ansteuerung der elektrischen Aufwärmvorrichtung 60 eine Mindestlastabsenkung des Dampfkraftwerks bis auf 0 W erlaubt. Durch die elektrische Zuheizung wird auf eine aufwändige verfahrenstechnische Einbindung des Speichersystems in den Wasser-Dampf-Kreislauf 1 und auf ein Herunterfahren des Dampferzeugers verzichtet, wodurch sich einerseits keine negativen Integrationseffekte ergeben und andererseits Warm- und Kaltstarts vermeiden lassen. Eine zusätzlich (durch das Aufwärmen mittels des thermischen Energiespeicherteils 5) erzeugte elektrische Leistung wird hierbei durch höhere Massenströme an den Dampfturbinen erreicht, da auf eine Entnahme von Anzapfdampf zur Vorwärmung des Speisewassers im Hochdruckvorwärmer verzichtet werden kann.

[0035] Die erfindungsgemäße Ausführung ermöglicht zudem hohe Wirkungsgrade. Die während der Beladung elektrisch erzeugte Wärme lässt sich beispielsweise mit dem genannten konduktiven Verfahren durch Widerstandserwärmung mit sehr hohem Wirkungsgrad (> 95 %) erreichen. Zudem wird die während der Entladung erzeugte zusätzliche elektrische Leistung durch erhöhte Dampfmassenströme in den Dampfturbinen erreicht, die bei hohen isentropen Wirkungsgraden (näherungsweise 90 %) arbeiten und somit eine effiziente Verstromung erzielen, wobei gegebenenfalls lediglich effizienzreduzierende Effekte durch einen höheren Volumenstrom in den Dampfturbinen zu berücksichtigen sind.

[0036] Zudem erlaubt die hohe Dynamik der Elektrobeheizung, wie auch der Wärmeeinkopplung in das Speisewasser, eine Bereitstellung von Regelenergien und somit deutliche Flexibilitätssteigerungen von Kohlekraft-

werken.

Patentansprüche

1. Dampfkraftwerk, wie Braun- oder Steinkohlekraftwerk, mit einem Wasser-Dampf-Kreislauf (1), einer an einen Generator (7) für die elektrische Energieerzeugung angeschlossenen Turbinenanordnung (4) und einem thermischen Energiespeicherteil (5), der eine ein Wärmespeichermedium enthaltende Wärmespeichereinheit (50), eine mit einer elektrischen Aufwärmvorrichtung (60) versehene Wärmeinkopplungseinrichtung (6) sowie eine an den Wasser-Dampf-Kreislauf (1) oder einen Rauchgaspfad angeschlossene Entladeeinrichtung (51) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die elektrische Aufwärmvorrichtung (60) über eine elektrische Energiezufuhrvorrichtung (61) mit von dem Generator (7) erzeugter, ausgangsseitig an diesem abgenommener elektrischer Energie unter Steuerung oder Regelung mittels einer Prozesssteuerung beaufschlagbar ist.
2. Dampfkraftwerk nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die elektrische Aufwärmvorrichtung (60) als Widerstandsheizvorrichtung oder als induktive Heizvorrichtung ausgebildet ist.
3. Dampfkraftwerk nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der thermische Energiespeicherteil (5) mit einem Ruths-Speicher, einem Feststoffspeicher oder einem Flüssigsalzspeicher versehen ist.
4. Dampfkraftwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Entladeeinrichtung (51) in einem Dampferzeugerabschnitt (3), insbesondere an einem Hochdruckvorwärmer (30), oder in einem Speisewasserteil (2), insbesondere an einem Niederdruckvorwärmer (23), angeschlossen ist.
5. Verfahren zum Betreiben eines Dampfkraftwerks, insbesondere eines Braun- oder Steinkohlekraftwerks, bei dem über einen Wasser-Dampf-Kreislauf (1) eine Turbinenanordnung (4) angetrieben und mittels eines an diese angeschlossenen Generators (7) elektrische Energie erzeugt wird, wobei einem thermischen Energiespeicherteil (5) in Phasen einer angeforderten elektrischen Lastabsenkung Wärmeenergie in einem Beladevorgang zugeführt und in Phasen einer elektrischen Lasterhöhung Wärmeenergie in einem Entladevorgang entnommen und dem Wasser-Dampf-Kreislauf (1) oder einem Rauchgaspfad zugeführt wird und wobei die dem thermischen

Energiespeicherteil (5) zugeführte Wärmeenergie mittels einer elektrischen Aufwärmvorrichtung (60) erzeugt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass die der Aufwärmvorrichtung (60) zugeführte elektrische Leistung der von dem Dampfkraftwerk (1) erzeugten elektrischen Leistung ausgangsseitig an dem Generator (7) entnommen wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Wärmeenergie bei dem Entladevorgang in einem Dampferzeugungsabschnitt (3), insbesondere einem Hochdruckvorwärmer (30), oder in einem Speisewasserteil (2), insbesondere einem Niederdruckvorwärmer (23), des Wasser-Dampf-Kreislaufs (1) zugeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** durch den Entladevorgang eine gegenüber einer Normallast zusätzliche elektrische Leistung abgegeben wird, indem durch die Entladung der Wärmeenergie in den Wasser-Dampf-Kreislauf (1) ein erhöhter Dampfmassenstrom und damit in einer in diesem befindlichen Turbinenanordnung (4) ein erhöhter Volumenstrom erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Beladevorgänge und die Entladevorgänge von einer Prozesssteuerung in Abhängigkeit von vorgegebenen und/oder vorgebbaren Prozessparametern gesteuert oder geregelt werden, wobei übergeordnete Steuer- oder Regelgrößen einbeziehbar sind.

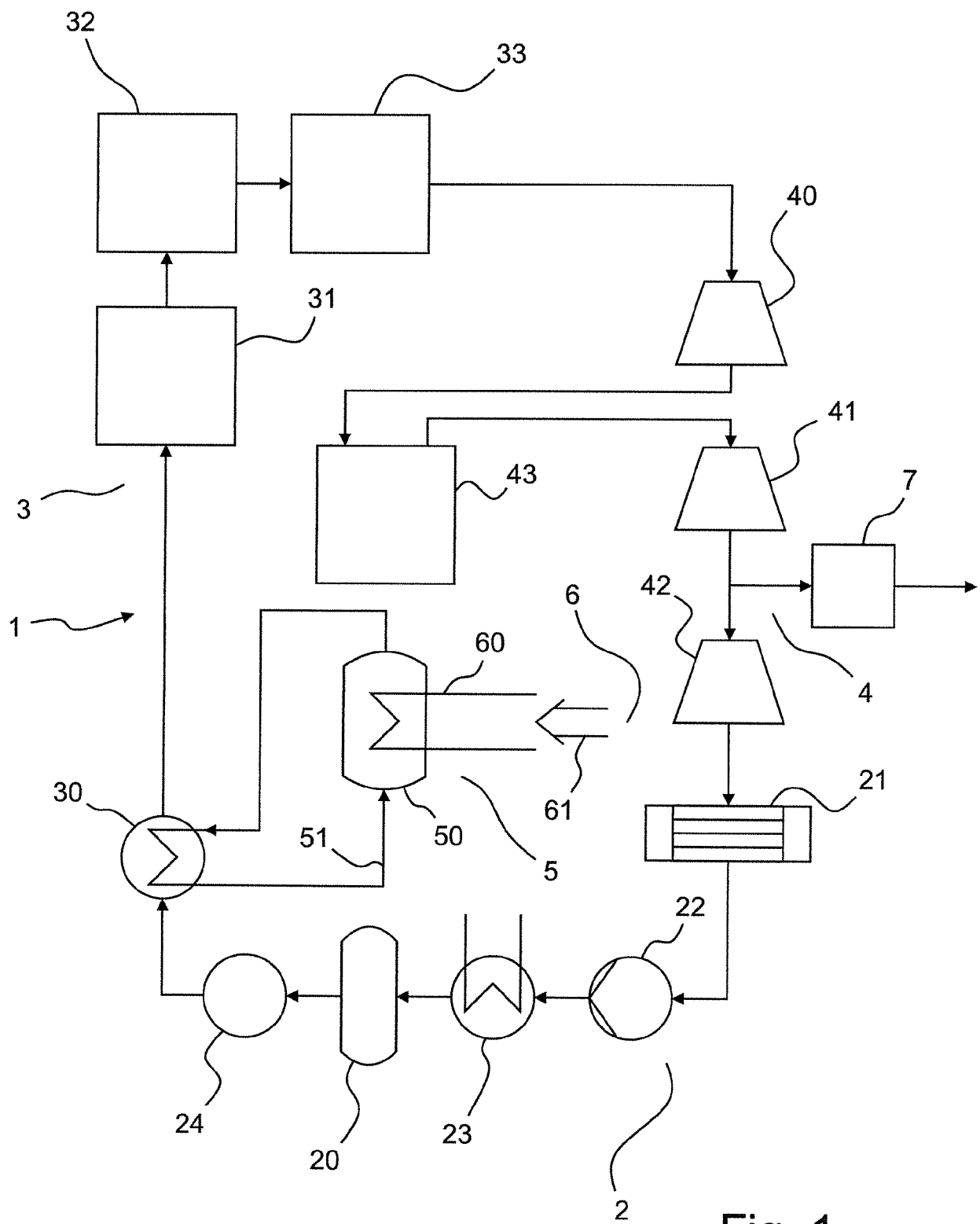


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 20 8619

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 927 436 A1 (MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS EUROPE GMBH [DE]) 7. Oktober 2015 (2015-10-07) * Absatz [0023]; Abbildung 1 * * Absätze [0035] - [0041] * -----	1-4	INV. F01K3/18 F01K7/16 F01K13/02 F01K1/04 F01K17/06
X	US 2008/134681 A1 (NAYEF DURAI S [CA] ET AL) 12. Juni 2008 (2008-06-12) * Absätze [0007] - [0016]; Abbildung 1 * -----	1-8	
A	US 2015/267566 A1 (VAMVAS VASSILIOS [US]) 24. September 2015 (2015-09-24) * Absätze [0037] - [0039]; Abbildung 3 * -----	1-8	
A	WO 2015/117821 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13. August 2015 (2015-08-13) * Seite 6, Zeile 5 - Seite 9, Zeile 4; Anspruch 9; Abbildung 1 * -----	1,5	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Mai 2019	Prüfer Röberg, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 18 20 8619

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

24-05-2019

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 2927436	A1	07-10-2015	DE 102014104806 A1 EP 2927436 A1	08-10-2015 07-10-2015
15	US 2008134681	A1	12-06-2008	US 2008134681 A1 WO 2006072185 A1	12-06-2008 13-07-2006
	US 2015267566	A1	24-09-2015	KEINE	
20	WO 2015117821	A1	13-08-2015	DE 102014202277 A1 WO 2015117821 A1	13-08-2015 13-08-2015
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

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

- DE 102011100517 A1 [0002]
- DE 102012204081 A1 [0003] [0005]
- DE 102012003267 A1 [0004] [0005]
- CH 196041 A [0006]
- DE 102011078193 A1 [0007]
- WO 2013000838 A2 [0008]
- DE 102012215569 A1 [0008]
- DE 102011078205 A1 [0009]
- WO 2009100881 A2 [0009]
- DE 102015109898 A1 [0009]