(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 772 686 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
25.03.2020 Patentblatt 2020/13

(51) Int Cl.:
F22B 35/02 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **14156099.5**

(22) Anmeldetag: **21.02.2014**

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben eines Dampferzeugers in einer Verbrennungsanlage

Method and device for operating a steam generator in a combustion plant

Procédé et dispositif destinés au fonctionnement d'un générateur de vapeur dans un incinérateur

(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

(30) Priorität: **01.03.2013 DE 102013003386**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.09.2014 Patentblatt 2014/36

(73) Patentinhaber:
- **Steinmüller Babcock Environment GmbH**
  51643 Gummersbach (DE)
- **Nippon Steel Engineering Co., Ltd.**
  Shinagawa-ku
  Tokyo 141-8604 (JP)

(72) Erfinder:
- **Otto, Dipl.-Ing. Ulrich**
  51643 Gummersbach (DE)
- **Sohnemann, Dr.-Ing. Jens**
  51491 Overath (DE)
- **Maghon, Dipl.-Ing. Thomas**
  51643 Gummersbach (DE)

(74) Vertreter: **Seewald, Jürgen**
Advopat Patent- und Rechtanwälte
Theaterstrasse 6
30159 Hannover (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 439 765
WO-A1-98/17947
WO-A1-2013/074767

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

EP 2 772 686 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers entsprechend dem Oberbegriff des ersten Patentanspruches und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Die Erfindung betrifft einen Dampferzeuger, insbesondere einen Heißdampferzeuger als Wasserrohr-Kessel mit eigener Feuerung oder als Abhitzekessel, z. B. gemäß DIN EN 12952 "Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten", die als Naturumlauf-Dampferzeuger mit einer Dampftrommel ausgerüstet sind. In dieser Dampftrommel befinden sich Siedewasser und Nassdampf bei einer Siedetemperatur gemäß Dampfdruck. Das Siedewasser wird dem Verdampfer zugeführt während der Nassdampf im Überhitzer nachträglich auf Endtemperatur aufgeheizt wird.

[0003] Die Erfindung betrifft insbesondere eine Kontrolle des Dampferzeugerbetriebes hinsichtlich der ausreichenden Kühlung von Verdampferheizflächen. Sie ist besonders geeignet für Dampferzeuger, welche über Speicherfeuerungen z.B. Rost- oder Wirbelschichtfeuerungen, insbesondere also mit Müllfeuerungen beheizt werden. Weiterhin betrifft die Erfindung Dampferzeuger, die im Temperatur-Gleichgewicht zwischen Trommel-Dampf, Trommel-Wasser und Fallrohr-Wasser betrieben werden.

[0004] Neben der Überwachung eines aktuellen Dampferzeugerbetriebes dient die Erfindung insbesondere dazu, bei Betriebsstörungen mit nicht mehr angezeigtem Wasserstand in der Dampftrommel eine möglicherweise entstandene Gefährdung oder Schädigung des Dampferzeugers beurteilen zu können.

[0005] Störungen im Naturumlauf können aufgrund der Differenz zwischen der Temperatur des aus dem Verdampfer kommenden Wasser-Dampf-Gemischs an mindestens einer Stelle vor Eintritt in die Trommel und der Siedetemperatur im Verdampfer kontinuierlich ermittelt werden.

[0006] Aus DE000019856417A1 ist ein Dampferzeuger mit Verdampfer, Dampftrommel und Überhitzer zum Einsatz in Müllverbrennungsanlagen bekannt.

[0007] Derartige Dampferzeuger müssen ständig gekühlt werden. Sie müssen dazu gemäß DIN EN 12952 Teil 7 "Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten - Teil 7: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel" mit ausreichend dimensionierten Speisewasser-Pumpen ausgerüstet sein und über zuverlässige Instrumente zur Regelung der Wasserzufuhr und als Wassermangelsicherung verfügen. Bei Wassermangel wird die Wärmeerzeugung automatisch gestoppt um eine Überhitzung der metallischen Baustoffe zu verhindern. Problematisch ist es allerdings, einen Wassermangel immer sicher und rechtzeitig festzustellen.

[0008] Aus DE000019510619A1 und DE102010008843A1 sind Verfahren zum Messen des Wasserstandes und zur Wasserstandsregelung bekannt.

[0009] Entsprechend dem Stand der Technik dient als Wassermangelsicherung üblicherweise die Trommelwasserstandsmessung, die redundant ausgeführt ist und Abweichungen vom Wasserstand-Sollwert erfasst. Diese Messung ist üblicherweise/vielfach auf den gemäß Auslegung zulässigen Regelbereich des Wasserstands beschränkt. Z.B. bei einem Trommeldurchmesser von 1800 mm auf Abweichungen von ca. +/- 350 mm bezogen auf den Sollwert ca. in Höhe der Trommelmitte. Bei Ansprechen dieser Wassermangelsicherung erfolgt ebenfalls üblicherweise automatisch die Abschaltung der Feuerung inkl. der Brennstoffaufgabe.

[0010] Von Nachteil ist diese Art der Messung in solchen Fällen, bei denen es in Ausnahmesituationen trotz aller Vorsichtsmaßnahmen zu Wassermangel kommt, d. h. der Wasserstand in der Dampftrommel fällt unterhalb des messtechnisch erfassten Bereichs. Die Messung kann dann lediglich die Information liefern, dass der Wasserstand kleiner als das messbare Minimum ist/war.

Mangels besserer Informationen und im Sinne einer konservativen Zustandsbewertung wird die Information "Wasserstand kleiner Minimum" zunächst als Schädigung von gefährdeten Bauteilen interpretiert. Die dann erforderliche, zerstörende oder zerstörungsfreie Zustandsprüfung ist in jedem Fall aufwändig. Vielfach zeigt das Ergebnis der zerstörenden oder zerstörungsfreien Prüfung dann, dass keine Bauteilschädigung vorliegt und dass im Rückschluss offenbar trotz angezeigter Grenzwert-Unterschreitung des Trommelwasserstandes noch eine ausreichende Wasserversorgung des Dampferzeugers vorgelegen hat.

Die Ursache dieser "Nicht-Zerstörung" liegt in dem teilweise großen Unterschied zwischen der Dichte des Siedewassers im Fallrohr und der Dichte des Wasser-Dampf-Gemischs im Verdampferrohr (Steigrohr).

[0011] In WO 2009/024 358 wird vorgeschlagen, die Flüssigkeitssäule in den Fallrohren des Zwangsumlauf-Abhitzekessels einer GuD-Anlage anhand von Differenzdruck-Messungen über die Höhe der Verdampferrohre zu bestimmen.

Mit dem so gemessenen Druck lässt sich grundsätzlich die Höhe der Flüssigkeitssäule bestimmen, sofern die mittlere Dichte (kg/m^3) des Wasser/Dampf Inhalts bekannt ist. Die mittlere Dichte im Verdampferrohr ist in der Regel aber nicht bekannt. Desweiteren erfolgt bei dieser Vorrichtung, die einen Zwangsumlauf des Wasser/Dampf-Gemisches voraussetzt, eine Temperaturmessung des Rauchgases, nicht jedoch im Steigrohr der Anlage.

[0012] Wie eingangs beschrieben kann es bei den Anlagen nach dem Stand der Technik in Ausnahmesituationen zum Ausfall der Wasserversorgung kommen und als Folge davon zur Überhitzung von Verdampferrohren aufgrund von Wassermangel. Dies gilt besonders für solche Feuerungen, die im Unterschied zu Gas- oder Staubfeuerungen mit einem nennenswerten Brennstoffinventar betrieben werden ("Speicherfeuerungen"). Besonders gefährdet sind dabei Verdampferrohre an der Decke

von Verbrennungsanlagen wie Müllfeuerungen, die bei Wassermangel zuerst trocken fallen und aufgrund der Nachwärme aus dem Müllbett weiter beheizt werden. Oberhalb einer bestimmten Grenztemperatur, die vom Werkstoff abhängt, kommt es zu einer irreversiblen Materialveränderung, geringere und kurzfristige Übertemperaturen führen nicht zwangsläufig zu einer Bauteilschädigung.

[0013] Eine andere Art der Bauteilschädigung kann jedoch bereits bei geringeren Übertemperaturen auftreten, wenn Verdampferrohre nach vorangegangenem Wassermangel schockartig gekühlt werden. In diesen Fällen entstehen aufgrund der kurzzeitig hohen Temperaturgradienten an der Innenseite der Rohrwand Risse in der Magnetit-Schicht, die sich als Schutzschicht auf der Rohrinnenseite befindet. Nachfolgend kommt es dann zum Bauteilversagen durch sogenannte Spannungsrisskorrosion.

[0014] Bezüglich der Vermeidung von Schäden durch hohe Temperaturgradienten kann JPO 58070007 A als ein Dokument zum Stand der Technik angesehen werden. JPO 58070007 A beschreibt ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers mit Speisewasserzufuhr in die Dampftrommel sowie einem Verdampfer mit Umwälzpumpe. Dieser Dampferzeuger ist dabei Teil einer GUD-Anlage und wird durch die Abgase einer Gasturbine beheizt. Üblicherweise werden die Abgase der Gasturbine erst nach erfolgtem Turbinenstart über eine Rauchgasklappe praktisch schlagartig vom Bypass auf den Dampferzeuger umgeschaltet. Dabei kommt es zu hohen zeitlichen und örtlichen Temperaturgradienten in den dickwandigen Kessel-Bauteilen. Gemäß JPO 58070007 wird durch Messung der Trommeltemperatur die Temperaturänderungsgeschwindigkeit dieses Bauteils überwacht und bei Überschreitung eines Grenzwertes durch Änderung der Betriebsweise der Gasturbine gezielt verlangsamt. Auf diese Weise soll die Wärmebelastung für dickwandige Bauteile wie Trommel und Gehäuse der Umwälzpumpe minimiert und Schäden vermieden werden.

Die in JPO 58070007 vorgeschlagene Überwachung der Temperaturänderungsgeschwindigkeit in der Trommel ist jedoch nicht geeignet, um Überhitzungen von Verdampferrohren aufgrund von Wassermangel zu erkennen und schockartiges Abkühlen dieser Verdampferrohe zu vermeiden.

[0015] US 4 802 446 beschreibt ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers mit einer Speisewasserzufuhr mittels Speisewasserpumpe in eine Dampftrommel, einen Verdampfer mit Wassertrommel und dem Umlauf des Wasser-Dampf-Gemisches in zumindest einem Fallrohr und einem Dampfabführungsrohr.

Es wird die Gefahr beschrieben, dass aufgrund zu geringer Dichteunterschiede durch Dampfblasenmitriss im Fallrohr der Naturumlauf gestört wird bzw. die Förderleistung der Umwälzpumpe für einen sicheren Betrieb nicht mehr ausreicht. Zur Erkennung dieses gefährlichen Zustands wird die Temperaturdifferenz zwischen Dampftrommel und dem unbeheizten Medium im Fallrohr, d.h. vor der Beheizung, gemessen.

[0016] Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass die Ermittelung dieser Temperaturdifferenz extrem schwierig ist weil die Temperatur eines Wasser-Dampf-Gemischs naturgemäß allein vom Druck und nicht vom Dampfgehalt abhängt. Dem Durchschnittsfachmann ist bekannt, dass Siedewasser, Wasser-Dampfgemisch und Sattdampf bei gleichem Druck stets dieselbe Temperatur haben.

[0017] Dieser Nachteil lässt sich gemäß der hier vorgestellten Erfindung dadurch umgehen, dass der Fokus auf die Erkennung einer beginnenden, lokalen Überhitzung des Wasser-Dampf-Gemisches als Folge einer unzureichenden Wasserversorgung gelegt wird. Dazu wird die Temperaturdifferenz zwischen Dampftrommel und dem Medium im Dampfabführrohr, d.h. oberhalb der Beheizung des Verdampfers, bestimmt. Im Falle des Eintretens einer Betriebsstörung kann somit durch die Auswertung der Zustandsänderung von Sattdampf hin zu überhitztem Dampf die dann markante Temperaturdifferenz zur Siedetemperatur in der Dampftrommel sicher erfasst werden. Diese Messgröße ist aufgrund der dann nennenswerten Temperaturdifferenzen problemlos erfassbar.

[0018] Aus WO 2013/074767 A1 ist eine Vorrichtung bekannt, die ein solartechnisches Kraftwerk mit Temperatursensoren (92) darstellt, die mit einem Controller (96) zum Steuern einer Heizung (90) in Verbindung stehen, wobei die Auswerteeinheit bei Unterschreiten einer bestimmten Temperatur im Rohr und bei Umkehr der Fließrichtung des Naturumlaufes (Figuren 4 bis 7) eine zusätzliche Heizung einschaltet, um Frostschäden zu vermeiden, die bei niedrigen Temperaturen und fehlender Isolierung entstehen können.

[0019] Bei der vorliegenden Vorrichtung in einer Verbrennungsanlage, die ständig gekühlt ist, steht die Überwachungsvorrichtung mit einer in Fließrichtung des Naturumlaufs zwischen Dampferzeuger und Dampftrommel angeordneten Messeinrichtung und einer Druck- oder/und einer Temperaturmesseinrichtung in Verbindung, um eine Alarmierung an einen Bediener auszulösen, wenn die Gefahr besteht, dass überhitzte Verdampferrohre durch schockartige Kühlung Schäden erleiden.

[0020] Zusätzlich beschreibt US 4 802 446 die Messung einer Rohrwandtemperatur auf der nicht beheizten Seite des Verdampferrohres im Bereich der Feuerung mit Alarmierung bei Überschreitung eines max. zulässigen Grenzwertes als Festwert. Dieses Verfahren hat jedoch zwei Nachteile:

a) Oberhalb der Temperaturmessstelle sind bei weiterreichender Beheizung auch Material-Überhitzungen möglich, ohne dass dies erkannt wird.

b) Die Materialtemperatur auf der beheizten Seite des Verdampferrohres ist stets höher als die Materialtemperatur auf der nicht beheizten Seite des Verdampferrohres.

Wenn nun die gemäß US 4 802 446 zu messende Materialtemperatur auf der nicht beheizten Seite des Verdampferrohres den materialspezifischen Grenzwert für Materialüberhitzung erreicht, so ist auf der beheizten Seite bereits Materialüberhitzung aufgetreten, ohne dass das erkannt wurde.

[0021] Diese Nachteile von US 4 802 446 lassen sich gemäß der hier vorgestellten Erfindung dadurch umgehen, dass

a) die Überwachung der Medium Temperatur im Dampfabführrohr und zwar in Strömungsrichtung gesehen hinter dem beheizten Teil des Verdampfers, also oberhalb der Beheizung erfolgt. Die Platzierung der Messung oberhalb der Beheizung ist enorm wichtig, da die Gefahr einer lokalen Überhitzung bis zum Ende des beheizten Teiles eines Verdampfers stetig zunimmt;
b) die Überwachung der Temperaturdifferenz zwischen Dampftrommel-Inhalt einerseits und Medium-Temperatur im Dampfabführrohr andererseits als Funktion des Prozessdrucks erfolgt und somit nicht auf ungeeignete, feste Grenzwerte angewiesen ist.

[0022] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu entwickeln, mit denen die Funktion des Naturumlaufs unabhängig von der Trommelwasserstandsmessung festzustellen ist und mögliche Bauteilschädigungen ohne aufwändige zerstörende oder zerstörungsfreie Prüfungen lediglich durch Auswertung der aufgezeichneten Betriebsdaten beurteilt werden können. Weiterhin soll der Bediener während der Betriebsstörung ein Signal erhalten, welches ihm hilft, Schäden durch schockartige Kühlung von überhitzten Verdampferrohren zu verhindern.

[0023] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach den kennzeichnenden Merkmalen des ersten Patentanspruches und eine Vorrichtung nach den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 8 gelöst.

[0024] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung geben die Unteransprüche wieder.

[0025] Die erfindungsgemäße Lösung sieht ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers mit einer Speisewasserzufuhr und einer Speisewasserpumpe vor, wobei der Dampferzeuger in einer Verbrennungsanlage mit einer Rostfeuerung oder einer Wirbelschichtfeuerung, insbesondere einer Müllfeuerung, angeordnet ist. Der Dampferzeuger, insbesondere ein Heißdampferzeuger, weist eine sogenannte Dampftrommel auf, in der sich Siedewasser und Nassdampf im thermodynamischen Gleichgewicht bei einer Siedetemperatur gemäß Dampfdruck befinden. Das Speisewasser wird von der Speisewasserpumpe in die Dampftrommel gefördert und in das Siedewasser eingemischt. Das in der Dampftrommel befindliche Siedewasser wird über Fallleitungen mittels Naturumlauf einem Verdampfer zugeführt und gelangt über die Dampfabführrohre wieder zurück in die Dampftrommel. Verdampfer und Dampftrommel werden im Temperatur-Gleichgewicht zwischen Trommel-Dampf, Trommel-Wasser und Fallrohr-Wasser betrieben.

Der Nassdampf wird zur weiteren Verwendung durch eine Leitung einem Überhitzer zugeführt.

[0026] Entsprechend dem Stand der Technik dient als Wassermangelsicherung üblicherweise die Trommelwasserstandsmessung, die redundant ausgeführt ist und Abweichungen vom Wasserstandssollwert erfasst. Diese Messung ist üblicherweise/vielfach auf den gemäß Auslegung zulässigen Regelbereich des Wasserstands beschränkt. Z.B. bei einem Trommeldurchmesser von 1800 mm auf Abweichungen von ca. +/- 350 mm bezogen auf den Sollwert ca. in Höhe der Trommelmitte.

[0027] Wird ein Wassermangel festgestellt, so werden entsprechend dem Stand der Technik durch die Leittechnik der Anlage entsprechende Maßnahmen eingeleitet. Das kann eine Speisewasserzufuhr, eine Drosselung der Verbrennungsluft oder eine Reduzierung des Aufgabegutes sein.

[0028] Von Nachteil ist diese Art der Messung in solchen Fällen, bei denen es in Ausnahmesituationen trotz aller Vorsichtsmaßnahmen zu Wassermangel kommt, d. h. der Wasserstand in der Dampftrommel fällt unterhalb des messtechnisch erfassten Bereich. Die Messung kann dann lediglich die Information liefern, dass der Wasserstand kleiner als das messbare Minimum ist/war.

[0029] Die daraus resultierenden Nachteile wurden eingangs bei der Bewertung des Standes der Technik genannt.

[0030] Die erfindungsgemäße Lösung sieht vor, mittels einer Messeinrichtung die Medientemperatur des aus dem Verdampfer kommenden Wasser-Dampf-Gemisches im Dampfabführrohr an mindestens einer Stelle vor dem Eintritt in die Dampftrommel zu messen.

Weiterhin ist die Siede-Temperatur am Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, zu messen oder zu bestimmen. Das kann in einer bevorzugten Ausführungsvariante durch eine direkte oder indirekte Temperaturmessung an der Dampftrommel erfolgen.

Unter Medientemperatur versteht der Fachmann die Temperatur, die das Medium an der betreffenden Messstelle aufweist. Unter Medium ist das in der Leitung befindliche Wasser-Dampf-Gemisch zu verstehen.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsvariante sieht vor, den Druck am Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, zu messen.

Vorteilhafterweise geschieht das kontinuierlich. Dazu muss an der Trommel eine dafür geeignete Temperatur- oder Druckmesseinrichtung vorhanden sein. Die Druckmesseinrichtung kann in Form eines Druckmessumformers, die Temperaturmesseinrichtung an der Trommel in Form eines Temperatursensors oder eines Thermometers ausgeführt sein.

Aus dem gemessenen Druck im Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, wird die Siedetempe-

ratur im Dampferzeuger berechnet. Diese Berechnung erfolgt mittels Leittechnikprogramm gemäß Wasserdampftafel. Derartige Berechnungsmethoden sind dem Fachmann bekannt.

Weiterhin sieht die erfindungsgemäße Lösung vor, die Temperatur des aus dem Verdampfer gelangenden Wasserdampfgemisches in den Dampfabführrohren an mindestens einer Stelle vor Eintritt in die Dampftrommel direkt und kontinuierlich zu messen.

[0031] Dazu sind in den Dampfabführrohren an mindestens einer Stelle vor Eintritt in die Dampftrommel Temperaturmesseinrichtungen vorzusehen. Als Temperaturmesseinrichtung können ein oder mehrere Sensoren mittels Tauchhülsen in den Dampfabführrohren angeordnet sein.

[0032] Vorteilhafterweise erfolgt die Messung der Temperatur in den Dampfabführrohren kontinuierlich.

[0033] Aus der gemessenen Temperatur des Mediums im Dampfabführrohr und der berechneten/gemessenen Siedetemperatur im Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, wird im Leittechnikprogramm eine Differenz bestimmt. Dieser Differenzwert dient dazu, ein Signal auszulösen, welches über die Prozessleittechnik den Bediener unverzüglich über den gefährlichen Betriebszustand informiert.

[0034] Dieser kann Maßnahmen manueller Art entsprechend der Betriebsanleitung treffen. Ebenso ist denkbar, dass dieses Signal automatisch zusätzliche Maßnahmen innerhalb der Prozessleittechnik auslöst, z. B. Sperrung der Speisewasserzufuhr um weitere Schäden an den überhitzen Verdampferrohre nach vorangegangenem Wassermangel durch schockartige Kühlung zu verhindern.

[0035] Sowohl die Temperaturmesseinrichtung in den Dampfabführrohren als auch die Druck-/Temperaturmesseinrichtung am Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, werden in einer Überwachungsvorrichtung ausgewertet, wobei die Differenz aus in den Dampfabführrohren gemessener Temperatur und direkt gemessen oder aus der Druckmessung errechneter/gemessenen Siedetemperatur im Leittechnikprogramm bestimmt wird. Die so bestimmte Temperaturdifferenz ist im Normalbetrieb nahezu = Null, das heißt, die Temperatur im Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, zeigt immer den gleichen Wert wie die Temperatur, die in den Dampfabführrohren gemessen wird. Sobald festgestellt wird, dass die Temperatur in den Dampfabführrohren, also vor der Dampftrommel höher ist, als im Dampferzeuger, vorzugsweise in der Dampftrommel, liegt Wassermangel im Verdampfer vor. Die erhöhte Temperatur ist dabei der Indikator für im Verdampfer einsetzende Überhitzung.

[0036] In diesem Fall ergeht durch die Überwachungsvorrichtung ein Signal an die übergeordnete Prozessleittechnik. Der Bediener muss nun Maßnahmen ergreifen, so dass eine weitere Wärmezufuhr zum Verdampfer unverzüglich verhindert wird.

[0037] Zusätzlich ist eine Nachspeisung von Speisewasser nun nicht mehr zulässig, um zu vermeiden, dass an trockengefallenen Rohren irreversible Materialveränderungen durch zugeführtes kaltes Speisewasser entstehen. Eine derartige Maßnahme kann darin bestehen ein Ventil zur Speisewasserzufuhr zu schließen.

[0038] Weiterhin ist es vorteilhaft, die genannten Betriebsdaten in der Betriebsdatenspeicherung aufzuzeichnen. Dies gilt zusätzlich für weitere, den allgemeinen Betrieb des Dampferzeugers beschreibende Betriebsdaten, z.B. die Rauchgastemperaturen.

[0039] Durch nachträgliche Auswertung der aufgezeichneten Betriebsdaten in ihrem zeitlichen Verlauf kann eine möglicherweise entstandene Gefährdung des Dampferzeugers beurteilt werden.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung haben den Vorteil, dass die Funktion des Naturumlaufs des Wasser-Dampf-Gemisches eines Dampferzeugers von Verbrennungsanlagen unabhängig von der Trommelwasserstandsmessung feststellbar ist und Bauteilschädigungen durch schockartige Kühlung von überhitzten Verdampfungsrohren sowie eine weitere Wärmezufuhr vermieden werden können, da die gefährliche Betriebssituation eindeutig signalisiert wird.

[0041] Im Folgenden wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel und zwei Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen:

Figur 1: Schematische Darstellung der Vorrichtung zum Betreiben eines Dampferzeugers, wobei die Dampftemperatur in der Dampftrommel mittels Druckmessung bestimmt wird.

Figur 2: Schematische Darstellung der Vorrichtung zum Betreiben eines Dampferzeugers, wobei die Dampftemperatur in der Dampftrommel mittels Temperaturmessung bestimmt wird.

[0042] Speisewasser 1 aus einem nicht dargestellten Speisewasserbehälter wird mittels Speisewasserpumpe 2 auf das Druckniveau des Dampferzeugers angehoben und der Dampftrommel 4 des hier betrachteten Dampferzeugers zugeführt. Die Speisewasserpumpe 2 wird über eine nicht zur Erfindung gehörende Niveauregelung in der Dampftrommel 4 gesteuert. Üblicherweise wird das Speisewasser 1 im Speisewasservorwärmer 3 (Economiser) nahezu bis auf Siedetemperatur aufgeheizt. In der Dampftrommel 4 befinden sich Siedewasser 10 und Nassdampf 11 bei einer Siedetemperatur gemäß Dampfdruck. Das Siedewasser 10 wird durch das unbeheizte Fallrohr 6 dem Verdampfer 7 von unten her zugeführt und durchströmt den Verdampfer 7 von unten nach oben. Auf dem Weg durch den Verdampfer wird dem Wasser so viel Wärme zugeführt, dass ein Teil des Siedewassers 10 verdampft. Über das unbeheizte Dampfabführrohr 8 gelangt das aus Siedewasser 10 und Nassdampf 11 bestehende Wasser-Dampf-Gemisch wieder in die oberhalb des Verdampfers 7 angeordnete Dampftrommel 4.

In der Dampftrommel 4 wird der Nassdampf 11 vom Siedewasser 10 getrennt und dem Überhitzer 19 zugeführt. Das Siedewasser 10 wird durch das unbeheizte Fallrohr 6 wieder dem Verdampfer 7 von unten her zugeführt.

[0043] Durch die Wärmeaufnahme im Verdampfer 7 sinkt die Dichte des Wasser-Dampf-Gemischs unter die Dichte des Siedewassers 10, so dass auf natürliche Weise eine treibende Druckdifferenz entsteht, durch die wiederum die Versorgung des Verdampfers 7 mit Siedewasser 10 sichergestellt wird (Naturumlauf).

[0044] Erfindungsgemäß ist im Dampfabführrohr 8 zwischen dem Verdampfer 7 und der Dampftrommel 4 eine Messeinrichtung 9 für die Medientemperatur angeordnet. Weiterhin ist an der Dampftrommel 4 die Druckmesseinrichtung 12 oder die Temperaturmesseinrichtung 20 (s. Figur 2) angeordnet.

[0045] Die Messeinrichtung 9 für die Medientemperatur wird ebenso wie die Druckmesseinrichtung 12 bzw. die Temperaturmesseinrichtung 20 (s. Figur 2) als Bestandteil der Überwachungsvorrichtung 15 genutzt.

[0046] Die Überwachungsvorrichtung 15 errechnet aus dem Druck, der in der Dampftrommel 4 gemessen wurde, gemäß Wasser-Dampf-Tafel die dazugehörende Siedetemperatur 13 im Leittechnik-Programm und bestimmt die Temperaturdifferenz 14 zwischen der Siedetemperatur 13 und der gemessenen Temperatur 9 im Dampfabführrohr 8 vor der Dampftrommel 4.

[0047] Sofern die bestimmte Temperaturdifferenz 14 nahezu gleich Null ist, besteht Normalbetrieb, so dass die Speisewasserpumpe 2 über den Economiser 3 bei Bedarf Speisewasser 1 in die Dampftrommel 4 zuführen kann und eine kontinuierliche Versorgung des Verdampfers 7 erfolgt.

[0048] Sofern die bestimmte Temperaturdifferenz 14 ungleich Null ist, ist von einer Überhitzung des Dampfes bereits im Verdampfer auszugehen und somit liegt eine Störung des Naturumlaufs 5 mit Wassermangel im Verdampfer vor. Dieser Zustand wird von der Überwachungsvorrichtung 15 sicher erkannt und über die Prozessleittechnik 17 an den Bediener alarmiert. Dieser muss nun unverzüglich durch geeignete Maßnahmen eine weitere Wärmezufuhr zum Verdampfer unterbinden. Im jetzigen Zustand ist eine Nachspeisung des Verdampfers 7 nicht mehr zulässig.

[0049] Parallel zu dem Signal 16, welches von der Überwachungsvorrichtung 15 zur Prozessleittechnik 17 erfolgt, wird ein Signal 16 mit den Daten der Anlage an die Betriebsdatenspeicherung 18 gegeben.

[0050] Im Nachgang zu einer Betriebsstörung mit einem nicht mehr angezeigten Wasserstand in der Dampftrommel 4 kann eine möglicherweise entstandene Schädigung des Dampferzeugers durch nachträgliche Auswertung der aufgezeichneten Betriebsdaten 8 im Betriebsdatenspeicher 18 beurteilt werden. Solange für die Temperaturdifferenz 14 keine Werte ungleich Null aufgezeichnet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass eine noch ausreichende Wasserversorgung des Dampferzeugers vorgelegen hat. Die Siedewasserreserven in der Dampftrommel 4 sowie dem Fallrohrsystem waren somit ausreichend.

[0051] Die *Figur 2* zeigt in schematischer Darstellung das Verfahren und die Vorrichtung zum Betrieben eines Dampferzeugers, wobei an der Dampftrommel 4 zur Temperaturmessung eine Temperaturmesseinrichtung 20 angeordnet ist und in der Überwachungsvorrichtung 15 die Temperatur der Temperaturmesseinrichtung 20 mit der Temperatur verglichen wird, die mittels Messeinrichtung 9 am Dampfabführrohr 8 gemessen wurde. Im Ergebnis sendet die Überwachungseinrichtung 15 ein Signal 16 an die Prozessleittechnik 17 und die Betriebsdatenspeicherung 18.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

[0052]

1	Speisewasser vom Speisewasserbehälter
2	Speisewasserpumpe
3	Speisewasservorwärmer (Economiser)
4	Dampftrommel
5	Naturumlauf
6	Fallrohr (unbeheizt)
7	Verdampfer (beheizt)
8	Dampfabführrohr (unbeheizt)
9	Messeinrichtung für Medientemperatur im Dampfabführrohr
10	Siedewasser in der Dampftrommel
11	Nassdampf in der Dampftrommel bzw. Nassdampf zum Überhitzer
12	Druckmesseinrichtung an der Dampftrommel
13	Siedetemperatur, bestimmt aus der Druckmesseinrichtung
14	Temperaturdifferenz zwischen gemessener Temperatur am Dampfabführrohr und Siedetemperatur, bestimmt aus der Druckmesseinrichtung bzw. direkt in der Dampftrommel gemessen
15	Überwachungsvorrichtung
16	Signal zur Prozessleittechnik und Betriebsdatenspeicherung
17	Prozessleittechnik
18	Betriebsdatenspeicherung
19	Überhitzer
20	Temperaturmesseinrichtung an der Dampftrommel

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers mit einer Speisewasserzufuhr mittels Speisewasserpumpe (2) in eine Dampftrommel (4), einen Verdampfer (7) und einen Naturumlauf eines Wasser-Dampf-Gemisches in einem Fall- und einem Dampfabführrohr (6, 8), wobei der Dampferzeuger im Temperatur-Gleichgewicht zwischen Trommel-Dampf, Trommel-Wasser und Fallrohr-Wasser betrieben

wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine mittels Messeinrichtung (9) gemessene Medientemperatur des aus dem Verdampfer (7) kommenden Wasser-Dampf-Gemisches im Dampfabführrohr (8) an mindestens einer Stelle vor dem Eintritt in die Dampftrommel (4) mittels Sensoren in Tauchhülsen gemessen wird,
- eine Siedetemperatur (13) in der Dampftrommel (4) gemessen oder berechnet wird, und
- aus der mittels Messeinrichtung (9) gemessenen Medientemperatur im Dampfabführrohr (8) und der Siedetemperatur (13) in der Dampftrommel (4) eine Temperaturdifferenz (14) bestimmt wird, deren Wert dazu dient, ein Signal (16) auszulösen, mit dem Maßnahmen zum Abwenden von Schäden der Anlage eingeleitet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Siedetemperatur (13) in der Dampftrommel (4) direkt oder indirekt gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Siedetemperatur (13) in der Dampftrommel (4) bestimmt wird, indem der Druck in der Dampftrommel (4) bestimmt und daraus die Siedetemperatur (13) berechnet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druck in der Dampftrommel (4) und die mittels Messeinrichtung (9) gemessene Medientemperatur im Dampfabführrohr (8) kontinuierlich gemessen werden.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass**, Maßnahmen zum Abwenden von Schäden eingeleitet werden, sofern die Temperatur des Wasser-Dampf-Gemisches im Dampfabführrohr (8) höher als die Siedetemperatur (13) im Dampferzeuger ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Maßnahme zum Abwenden eines Schadens ein Signal (16) an die Prozessleittechnik (17) zur eindeutigen Alarmierung des gefährlichen Betriebszustandes erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Betriebsdaten einer Überwachungsvorrichtung (15) in einer Betriebsdatenspeicherung (20) aufgezeichnet werden.

8. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einer Verbrennungsanlage, mit einem Dampferzeuger, der eine Dampftrommel (4), eine Leitung für Speisewasser (1) mit einer Speisewasserpumpe (2), einen Verdampfer (7) und einen Überhitzer (19) beinhaltet, wobei bei dem Dampferzeuger ein Fallrohr (6) und mindestens ein Dampfabführrohr (8) angeordnet sind, zu dem die Leitung für Speisewasser (1) mit der Speisewasserpumpe (2) führt, wobei

- am Dampferzeuger eine Leitung für Nassdampf (11) zu dem Überhitzer (19) angeordnet ist und vor dem mindestens einen Dampfabführrohr (8) der Verdampfer (7) angeordnet ist,
- in dem mindestens einen Dampfabführrohr (8) zwischen Verdampfer (7) und der Dampftrommel (4) als Messeinrichtung (9) mindestens ein Sensor in einer Tauchhülse angeordnet ist,
- an der Dampftrommel (4) eine Temperaturmesseinrichtung (20) zur Messung einer Medientemperatur und eine Druckmesseinrichtung (12) angeordnet sind,
- die Temperatur- und Druckmesseinrichtung (9, 20, 12) mit einer Überwachungsvorrichtung (15) verbunden sind, und wobei Mittel vorgesehen sind für die Bestimmung einer aktuellen Siedetemperatur, sowie eine Abweichung von Medientemperatur und aktueller Siedetemperatur, und
- eine Verbindung von der Überwachungseinrichtung (15) zu einer Prozessleittechnik (17) vorhanden ist, mit der eine Alarmierung zum Bediener übertragen wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindung zwischen der Überwachungsvorrichtung (15) und der Prozessleittechnik (17) eine elektrische darstellt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozessleittechnik (17) eine Prozessleittechnik für die Alarmierung des Bedieners darstellt, zu der parallel eine Betriebsdatenspeicherung (18) angeordnet ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckmesseinrichtung (12) an der Dampftrommel (4) einen Druckmessumformer darstellt.

Claims

1. Method for operating a steam generator with a feed water supply by means of a feed water pump (2) into a steam drum (4), an evaporator (7) and a natural circulation of a water-steam mixture in a down pipe and a steam discharge pipe (6, 8), wherein the steam generator is operated in the temperature equilibrium between drum-steam, drum-water and downpipe water, **characterised in that**

- a media temperature of the water-steam mixture coming from the evaporator (7) in the steam discharge pipe (8) measured by means of measuring device (9) at, at least, one point before entering the steam drum (4) is measured by means of sensors in immersion sleeves,
- a boiling temperature (13) is measured or calculated in the steam drum (4), and
- from the media temperature in the steam discharge pipe (8) measured by means of the measuring device (9) and the boiling temperature (13) in the steam drum (4) a temperature difference (14) is determined, the value of which serves to trigger a signal (16), with which measures to prevent damage to the system are initiated.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the boiling temperature (13) in the steam drum (4) is measured directly or indirectly.

3. Method according to claim 1, **characterised in that** the boiling temperature (13) in the steam drum (4) is determined by determining the pressure in the steam drum (4) and the boiling temperature (13) is calculated therefrom.

4. Method according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the pressure in the steam drum (4) and the media temperature measured by means of measuring device (9) in the steam discharge pipe (8) are measured continuously.

5. Method according to claims 1 to 4, **characterised in that** measures to prevent damage are initiated if the temperature of the water-steam mixture in the steam discharge pipe (8) is higher than the boiling temperature (13) in the steam generator.

6. Method according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** a signal (16) is given to the process control system (17) to unambiguously alert it of the dangerous operating state as a measure to prevent damage.

7. Method according to claim 6, **characterised in that** the operating data of a monitoring device (15) are recorded in an operating data storage (20).

8. Device for carrying out a method according to any one of claims 1 to 7 in an incineration plant, with a steam generator, containing a steam drum (4), a line for feed water (1) with a feed water pump (2), an evaporator (7) and a superheater (19), wherein at the steam generator a downpipe (6) and at least one steam discharge pipe (8) are arranged, to which the line for feed water (1) with the feed water pump (2) leads, wherein

- a line for wet steam (11) to the superheater (19) is arranged on the steam generator with an evaporator (7) being arranged in front of the at least one steam discharge pipe (8),
- in the at least one steam discharge pipe (8) at least one sensor is arranged in an immersion sleeve between evaporator (7) and the steam drum (4) as measuring device (9),
- a temperature measuring device (20) for measuring a media temperature and a pressure measuring device (12) are arranged on the steam drum (4),
- the temperature and pressure measuring device (9, 20, 12) are connected to a monitoring device (15), and
- wherein means are provided for determining the current boiling temperature, and a deviation between media temperature and current boiling temperature, and
- a connection from the monitoring device (15) to a process control system (17) is present with which an alarm is transmitted to the operator.

9. Device according to claim 8, **characterised in that** the connection between the monitoring device (15) and the process control system (17) is an electrical one.

10. Device according to either claim 8 or 9, **characterised in that** the process control system (17) constitutes a process control system for transmitting an alarm to the operator, in parallel with which an operating data storage (18) is arranged.

11. Device according to any one of claims 8 to 10, **characterised in that** the pressure measuring device (12) on the steam drum (4) constitutes a pressure transducer.

Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un générateur de vapeur avec une alimentation en eau au moyen d'une pompe d'eau d'alimentation (2) dans un ballon à vapeur (4), un évaporateur (7) et une circulation naturelle d'un mélange d'eau et de vapeur dans un tube de descente et d'évacuation de vapeur (6, 8), le générateur de vapeur fonctionnant en équilibre thermique entre la vapeur du ballon, l'eau du ballon et l'eau du tube de descente, **caractérisé en ce que**

- une température de milieu mesurée au moyen d'un dispositif de mesure (9), à savoir la température du mélange d'eau et de vapeur provenant de l'évaporateur (7) est mesurée dans le tube d'évacuation (8), à au moins un endroit en amont de l'entrée dans le ballon à vapeur (4), au moyen

de capteurs dans des capsules d'immersion.
- une température d'ébullition (13) dans le ballon à vapeur (4) est mesurée ou calculée, et
- une différence de température (14) est déterminée à partir de la température de milieu mesurée dans le tube d'évacuation de vapeur (8) au moyen du dispositif de mesure et de la température d'ébullition (13) dans le ballon à vapeur (4), différence, dont la valeur est destinée à déclencher un signal (16) qui engendre la prise de mesures pour éviter des dommages à l'installation.

2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la température d'ébullition (13) dans le ballon à vapeur (4) est mesurée directement ou indirectement.

3. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la température d'ébullition (13) dans le ballon à vapeur (4) est déterminée en déterminant la pression dans le ballon à vapeur (4) et, à partir de celle-ci, à calculer la température d'ébullition (13).

4. Procédé suivant la revendication 1 à 3, **caractérisé en ce que** la pression dans le ballon à vapeur (4) et la température de milieu mesurée au moyen du dispositif de mesure (9) dans le tube d'évacuation de vapeur (8) sont mesurées continuellement.

5. Procédé suivant les revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** des mesures pour éviter des dommages sont prises dans la mesure où la température du mélange d'eau et de vapeur dans le tube d'évacuation de vapeur (8) est supérieure à la température d'ébullition (13) dans le générateur de vapeur.

6. Procédé suivant une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**en tant que mesure pour éviter un dommage, un signal (16) est envoyé à l'équipement de conduite de processus (17) pour une alerte claire de l'état de fonctionnement dangereux.

7. Procédé suivant la revendication 6, **caractérisé en ce que** les données d'exploitation d'un dispositif de surveillance (15) sont enregistrées dans un stockage de données d'exploitation (20).

8. Dispositif destiné à l'exécution d'un procédé suivant une des revendications 1 à 7 dans une installation d'incinération avec un générateur de vapeur qui comporte un ballon à vapeur (4), une conduite pour l'eau d'alimentation (1) avec une pompe d'eau d'alimentation (2), un évaporateur (7) et un surchauffeur (19), un tube de descente (6) et au moins un tube d'évacuation de vapeur (8), vers lequel est dirigée la conduite d'eau d'alimentation (1) avec la pompe d'eau d'alimentation (2), étant disposés près du générateur de vapeur,

- une conduite de vapeur saturée (11) dirigée vers le surchauffeur (19) étant disposée sur le générateur de vapeur et l'évaporateur étant disposé en amont de l'au moins un tube d'évacuation de vapeur (8),
- au moins un capteur dans une capsule d'immersion étant disposé, comme dispositif de mesure (9), dans l'au moins un tube d'évacuation de vapeur (8) entre l'évaporateur (7) et le ballon à vapeur (4),
- un dispositif de mesure de température (20) destiné à mesurer une température de milieu et un dispositif de mesure de pression (12) étant disposés sur le ballon à vapeur (4),
- les dispositifs de mesure de température et de pression (9, 20, 12) étant reliés à un dispositif de surveillance (15) et des moyens étant prévus pour déterminer une température d'ébullition actuelle, ainsi qu'un écart entre la température de milieu et la température d'ébullition actuelle, et
- une liaison étant existante entre le dispositif de surveillance (15) et l'équipement de conduite de processus (17), à l'aide de laquelle une alarme peut être transmise à l'utilisateur.

9. Dispositif suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** la liaison entre le dispositif de surveillance (15) et l'équipement de conduite de processus (17) est une liaison électrique.

10. Dispositif suivant une des revendications 8 et 9, **caractérisé en ce que** l'équipement de conduite de processus (17) est un équipement de conduite de processus d'alerte de l'opérateur, un stockage des données d'exploitation (18) étant disposé parallèlement à celui-ci.

11. Dispositif suivant une des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce que** le dispositif de mesure de pression (12) sur le ballon à vapeur (4) est un convertisseur de pression.

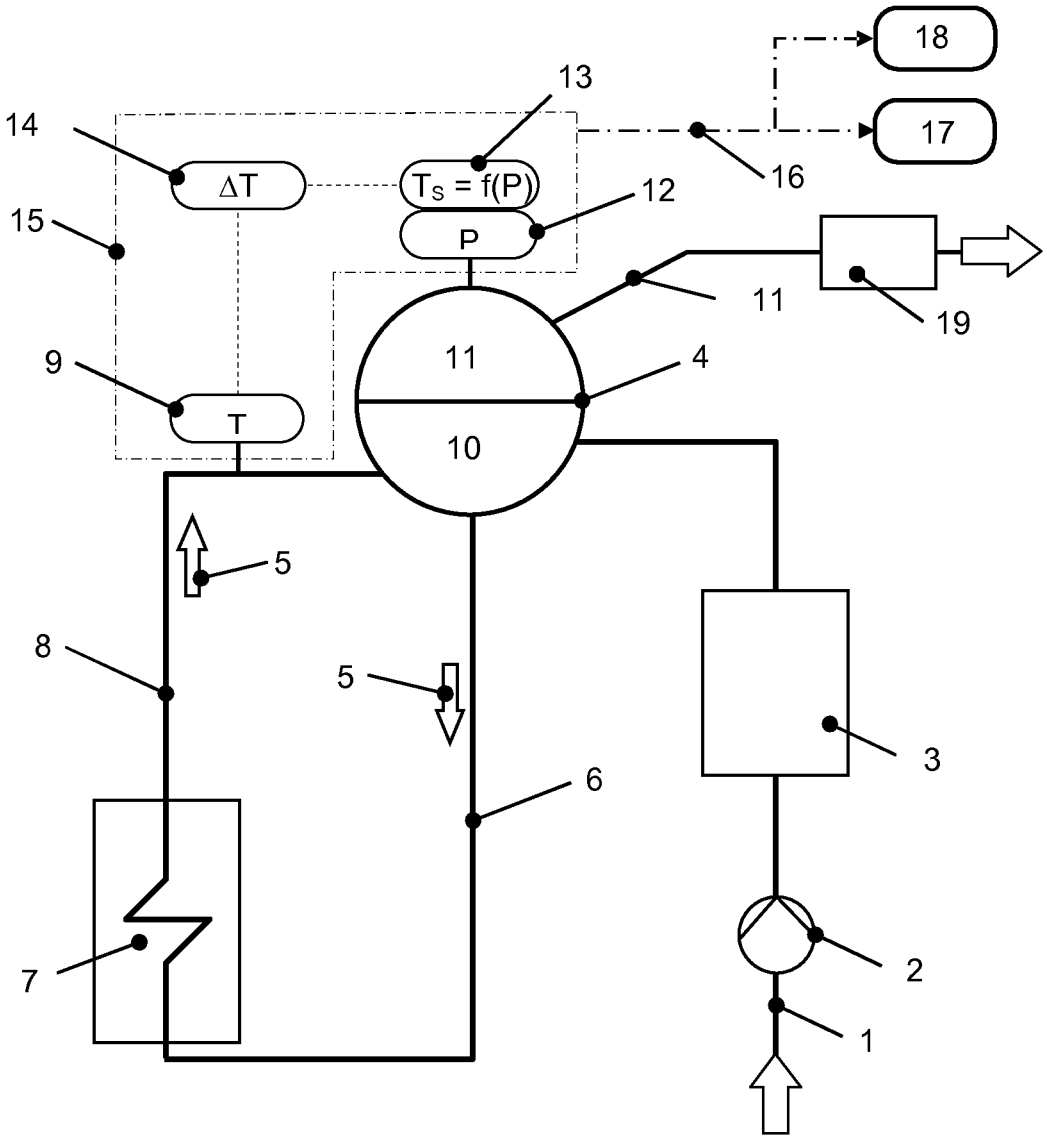

Fig. 1

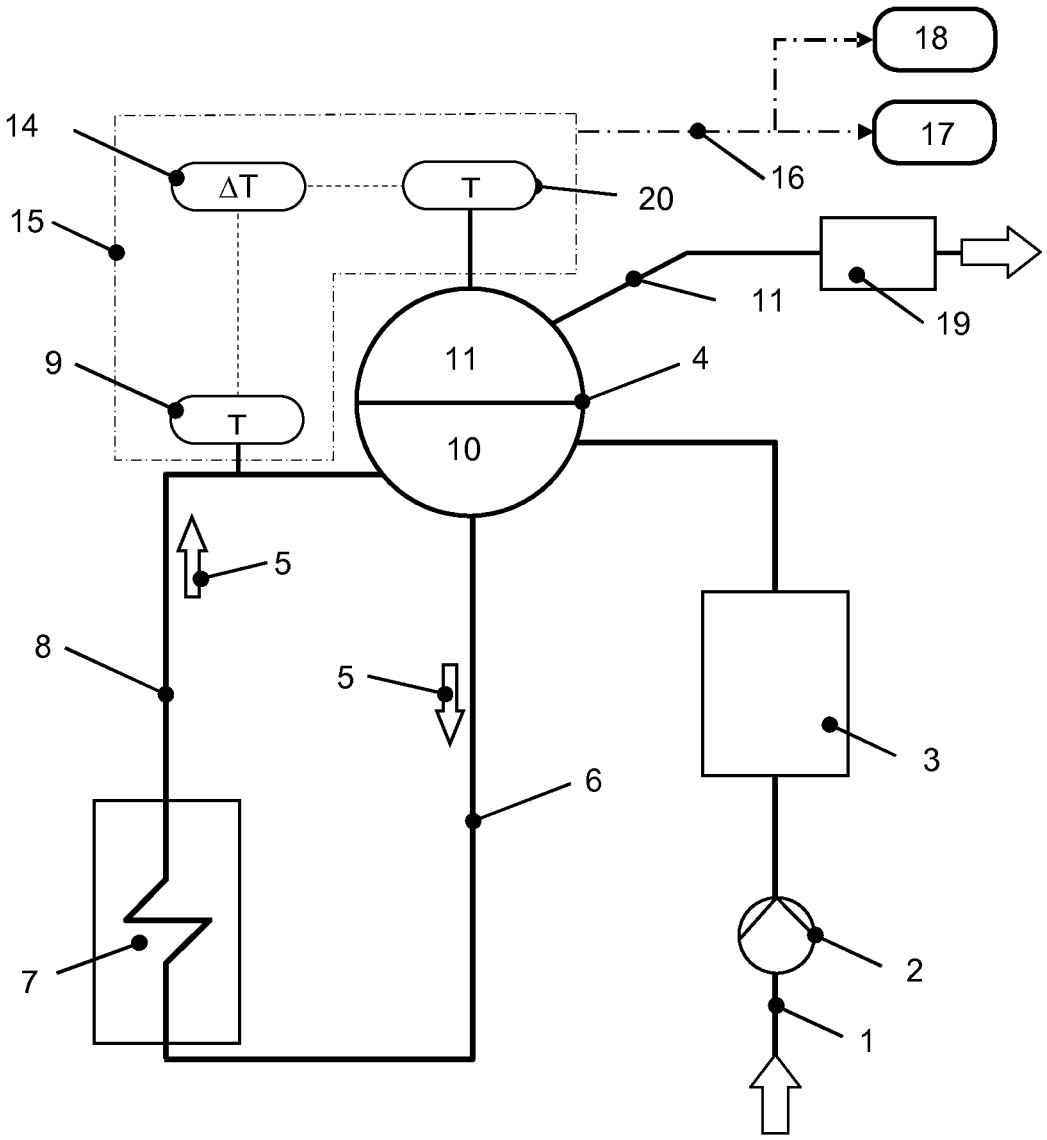

Fig. 2

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 000019856417 A1 **[0006]**
- DE 000019510619 A1 **[0008]**
- DE 102010008843 A1 **[0008]**
- WO 2009024358 A **[0011]**
- US 4802446 A **[0015] [0020] [0021]**
- WO 2013074767 A1 **[0018]**