

(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
4. Juni 2009 (04.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/068446 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F22D 5/26 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/065522

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. November 2008 (14.11.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
07023081.8 28. November 2007 (28.11.2007) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRÜCKNER, Jan
[DE/DE]; Habernhofer Weg 30, 91080 Uttenreuth (DE).
FRANKE, Joachim [DE/DE]; Klosterbergstr. 9, 90518
Altdorf (DE). THOMAS, Frank [DE/DE]; Meisenweg
9b, 91056 Erlangen (DE).

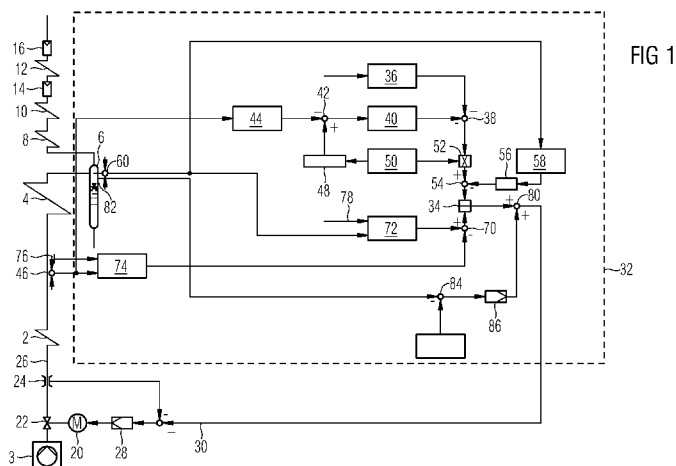
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A ONCE-THROUGH STEAM GENERATOR AND FORCED-FLOW STEAM GEN-
ERATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES DURCHLAUFDAMPFERZEUGERS SOWIE ZWANGDURCH-
LAUFDAMPFERZEUGER



(57) Abstract: A method for operating a once-through steam generator having an evaporator heating surface (4), in which a target value (Ms) for the supply water mass flow (M) is fed to a device for setting the supply water mass flow (M), which is predefined by means of the ratio of the heat flow currently being transferred in the evaporator heating surface (4) from the hot gas to the flow medium on the one hand and a target enthalpy increase predefined with respect to the desired live steam condition of the flow medium in the evaporator heating surface (4) on the other hand, is intended to provided a forced-flow steam generator (1, 1') particularly suited for carrying out the method. The heat flow transferred from the hot gas to the flow medium is ascertained for this purpose according to the invention allowing for a specific temperature value characteristic of the current temperature of the hot gas at the evaporator inlet and a specific mass flow value characteristic for the current mass flow of the hot gas.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Betreiben eines Durchlauf dampf erzeugers mit einer Verdampf erheizf lache (4), bei dem einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms (M) ein Sollwert (Ms) für den Speisewassermassenstrom (M) zugeführt wird, der anhand des Verhältnisses aus dem aktuell in der Verdampferheizfläche (4) vom Heizgas auf das Strömungsme-
dium

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/068446 A2



LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

übertragenen Wärmestrom einerseits und einer im Hinblick auf den gewünschten Frischdampfzustand vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche (4) andererseits vorgegeben wird, soll einen für die Durchführung des Verfahrens besonders geeigneter Zwangsdurchlauf dampf erzeuger (1, 1') angeben. Dazu wird erfindungsgemäß der vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom unter Berücksichtigung eines für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Temperaturkennwerts und eines für den aktuellen Massenstrom des Heizgases charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt.

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Durchlaufdampferzeugers sowie
Zwangdurchlaufdampferzeuger

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines
Durchlaufdampferzeugers mit einer Verdampferheizfläche, bei
dem einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassen-
stroms $\dot{M}$ ein Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$
10 zugeführt wird. Sie bezieht sich weiterhin auf einen Zwang-
durchlaufdampferzeuger zur Durchführung des Verfahrens.

In einem Durchlaufdampferzeuger führt die Beheizung einer An-
zahl von Dampferzeugerrohren, die zusammen eine Verdampfer-
15 heizfläche bilden, zu einer vollständigen Verdampfung eines
Strömungsmediums in den Dampferzeugerrohren in einem Durch-
gang. Das Strömungsmedium - üblicherweise Wasser - wird dabei
in der Regel vor seiner Verdampfung einem der Verdampferheiz-
fläche strömungsmediumsseitig vorgeschalteten Vorwärmer, üb-
20 licherweise auch als Economizer bezeichnet, zugeführt und
dort vorgewärmt.

Abhängig vom Betriebszustand des Durchlaufdampferzeugers und
damit zusammenhängend von der aktuellen Dampferzeugerleistung
25 wird der Speisewassermassenstrom in die Verdampferheizfläche
geregelt. Bei Laständerungen sollte der Verdampferdurchfluss
möglichst synchron zum Wärmeeintrag in die Verdampferheizflä-
che geändert werden, weil sonst eine Abweichung der spezifi-
schen Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdamp-
30 ferheizfläche vom Sollwert nicht sicher vermieden werden
kann. Eine solche unerwünschte Abweichung der spezifischen
Enthalpie erschwert die Regelung der Temperatur des aus dem
Dampferzeuger austretenden Frischdampfes und führt darüber
hinaus zu hohen Materialbelastungen und somit zu einer redu-
35 zierten Lebensdauer des Dampferzeugers.

Um Abweichungen der spezifischen Enthalpie vom Sollwert und
daraus resultierende unerwünscht große Temperaturschwankungen

in allen Betriebszuständen des Dampferzeugers, also insbesondere auch in transienten Zuständen oder bei Lastwechseln, möglichst gering zu halten, kann die Speisewasserdurchflussregelung in der Art einer so genannten prädiktiven oder vorausschauenden Auslegung ausgestaltet sein. Dabei sollen insbesondere auch bei Lastwechseln die notwendigen Speisewassersollwerte in Abhängigkeit vom aktuellen oder für die nächste Zukunft zu erwartenden Betriebszustand bereitgestellt werden.

10 Aus der EP 0639 253 ist ein Durchlaufdampferzeuger bekannt, bei dem der Speisewasserdurchfluss über eine Vorausberechnung der benötigten Speisewassermenge geregelt wird. Als Grundlage für das Berechnungsverfahren dient dabei die Wärmestrombilanz der Verdampferheizfläche, in die der Speisewassermassenstrom
15 insbesondere am Eintritt der Verdampferheizfläche eingehen sollte. Der Sollwert für den Speisewassermassenstrom wird dabei aus dem Verhältnis aus dem aktuell in der Verdampferheizfläche vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragenen Wärmestrom einerseits und einer im Hinblick auf den gewünschten
20 Frischdampfzustand vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche andererseits vorgegeben.

In der Praxis erweist sich die Messung des Speisewassermassenstroms unmittelbar am Eintritt der Verdampferheizfläche
25 jedoch als technisch aufwendig und nicht in jedem Betriebszustand zuverlässig durchführbar. Statt dessen wird ersatzweise der Speisewassermassenstrom am Eintritt des Vorwärmers gemessen und in die Berechnungen der Speisewassermenge einbezogen,
30 der jedoch nicht in jedem Fall gleich dem Speisewassermassenstrom am Eintritt der Verdampferheizfläche ist.

Um den hierdurch bedingten Ungenauigkeiten bei der Vorgabe eines insbesondere bei Lastwechseln besonders bedarfsgerechten Sollwerts für den Speisewassermassenstrom zu begegnen,
35 ist bei einem alternativen Konzept einer prädiktiven Massenstromregelung, wie es aus der WO 2006/005708 A1 bekannt ist, vorgesehen, als eine der Eingangsgrößen für die Speisewasser-

durchflussregelung die Speisewasserdichte am Eintritt des Vorwärmers zu berücksichtigen.

Beide genannten Konzepte für eine prädiktive Massenstromregelung basieren als wesentliche Eingangsgröße auf dem Sollwert für die Dampferzeugerleistung, aus dem anhand hinterlegter Korrelationen und insbesondere unter Rückgriff auf zuvor gewonnene Eich- oder Referenzmessungen die in die eigentliche Sollwertbestimmung einfließenden Kennwerte errechnet werden.

Dies setzt jedoch ausreichend stabile und eindeutig auf eine Feuerungsleistung zurückführbare Systemeigenschaften insgesamt voraus, wie sie üblicherweise bei gefeuerten Dampferzeugern vorliegen. In anderen Systemen, wie beispielsweise bei einer Auslegung des Durchlaufdampferzeugers als Abhitzekessel zur Wärmerückgewinnung aus dem Rauchgas einer vorgeschalteten Gasturbine, liegen derartige Verhältnisse jedoch nicht vor.

Zudem ist bei derartigen, als Abhitzekessel geschalteten Systemen eine Feuerungsleistung nicht im selben Maße als freier Parameter nutzbar wie bei direkt gefeuerten Kesseln, da bei einer Verschaltung als Abhitzekessel üblicherweise als primäres Kriterium zur Steuerung der Gesamtanlage der Betrieb der Gasturbine angesehen wird, an deren Systemzustand die anderen Komponenten angepasst werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Dampferzeugers der oben genannten Art anzugeben, das bei vergleichsweise gering gehaltenem Aufwand auch bei einem Betrieb des Dampferzeugers als Abhitzekessel eine besonders gut an den aktuellen oder erwarteten Wärmeeintrag in die Verdampferheizfläche angepasste Einstellung des Speisewassermassenstroms durch die Verdampferheizfläche ermöglicht. Des Weiteren soll ein für die Durchführung des Verfahrens besonders geeigneter Zwangdurchlaufdampferzeuger angegeben werden.

Bezüglich des Verfahrens wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem der vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom unter Berücksichtigung eines für die aktu-

elle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Temperaturkennwerts und eines für den aktuellen Massenstrom des Heizgases charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt wird.

5

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass eine auch für als Abhitzekessel geschaltete Dampferzeuger nutzbare, ausreichend zuverlässige prädiktive Massenstromregelung weit gehend an die Besonderheiten des Abhitzekessels angepasst werden sollte. Dabei sollte insbesondere berücksichtigt werden, dass anders als bei gefeuerten Kesseln in diesem Fall die Feuerungsleistung kein geeigneter Parameter ist, der einen ausreichend zuverlässigen Rückschluss auf die zugrunde liegende Wärmestrombilanz zulässt. Insbesondere sollte dabei berücksichtigt werden, dass bei einer für Abhitzekessel äquivalenten Größe, nämlich der aktuellen Gasturbinenleistung oder mit dieser korrelierender Parameter, noch weitere, gasturbineninterne Parameter hinzutreten können, so dass anhand dieser Größen kein akzeptabler Rückschluss auf die Enthalpieverhältnisse beim Eintritt des Heizgases in den Rauchgaskanal des Dampferzeugers möglich ist. Bei der zur Ermittlung des benötigten Speisewasserstroms zugrunde gelegten Wärmestrombilanz sollte daher auf andere, besonders geeignete Parameter zurückgegriffen werden. Hierzu sind vorliegend die Heizgastemperatur beim Eintritt in den Verdampfer sowie der Massenstrom des Heizgases vorgesehen.

Auf diese Weise ist eine vorgesteuerte Berechnung der erforderlichen Speisewassermenge auf der Grundlage einer Wärmestrombilanzierung des Verdampfers, die gegebenenfalls optional auch nachfolgende Überhitzerheizflächen miteinbeziehen kann, ermöglicht. Der für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristische Temperaturkennwert ermöglicht dabei insbesondere die Ermittlung eines besonders zuverlässigen und somit bedarfsgerechten Kennwerts für die Heizgasenthalpie am Verdampfereintritt unter Berücksichtigung der Heizgasenthalpie am Verdampferauslass, die ihrerseits anhand des für den aktuellen Massenstrom charakte-

ristischen Massenstromkennwerts berechnet werden kann, und damit eine besonders zuverlässige und bedarfsgerechte Ermittlung des aktuellen Wärmeangebots- oder -übertrags vom Heizgas auf das Speisewasser. Aus dieser kann unter Berücksichtigung der vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung, also insbesondere der Differenz zwischen der unter Berücksichtigung der gewünschten Frischdampfparameter ermittelten Soll-Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt und der aus geeigneten Messwerten wie beispielsweise Druck und Temperatur ermittelten Ist-Enthalpie am Verdampfereintritt, die gewünschte Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche ermittelt werden, wobei aus dem Verhältnis dieser Größen ein hierzu geeigneter Sollwert für den Speisewassermassenstrom errechnet werden kann.

Als charakteristischer Temperaturkennwert und/oder als charakteristischer Massenstromkennwert zur geeigneten quantitativen Beschreibung des in den Verdampfer eintretenden Heizgases wird vorzugsweise ein für die aktuelle Situation besonders repräsentativer Kennwert berücksichtigt. Derartige Kennwerte können anhand aktuell vorliegender Messdaten geeignet ermittelt und insbesondere unter Rückgriff auf hinterlegte Speicherkennwerte geeignet bereitgestellt werden. Eine besonders zuverlässige Auswertung der Wärmestrombilanz und somit die Ermittlung eines besonders genau vorausberechneten Speisewasser-Sollwerts ist aber ermöglicht, indem vorteilhafterweise als charakteristischer Temperaturkennwert und/oder als charakteristischer Massenstromkennwert jeweils ein aktuell erfasster Messwert berücksichtigt wird.

Der vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom wird vorteilhafterweise anhand einer Wärmestrombilanz ermittelt, bei der als wesentliche Eingangsgröße die Enthalpiedifferenz des Heizgases zwischen Verdampfereintritt und Verdampferaustritt zugrunde gelegt wird. Für eine besonders zuverlässige Kennwertberechnung wird dabei in weiterer vorteilhafter Ausgestaltung aber auch noch berücksichtigt, dass die durch diese Enthalpiedifferenz wiedergegebene Senkung des

- Energieinhalts im Rauchgas beim Durchtritt durch die Verdampferheizfläche zwar einerseits zu einer Enthalpieerhöhung im Strömungsmedium innerhalb der Verdampferheizfläche, andererseits aber auch zu Energieein- und/oder Ausspeichereffekten
- 5 in den Bauteilen des Verdampfers, also insbesondere in den Dampferzeugerrohren und sonstigen metallischen Komponenten, führen kann. Für eine besonders zuverlässige Ermittlung der tatsächlich auf das Strömungsmedium innerhalb der Verdampferheizfläche übertragenen Enthalpiedifferenz wird dieser Aspekt
- 10 der Energieein- und/oder Ausspeicherung von Wärme in den Metallmassen geeignet als charakteristischer Korrekturwert berücksichtigt, um den die Enthalpiedifferenz des Heizgases geeignet modifiziert wird.
- 15 Bei der Ermittlung der Enthalpiedifferenz des Heizgases wird vorteilhafterweise die aktuelle Enthalpie des Heizgases am Verdampferaustritt berücksichtigt, indem sie anhand des Drucks des Strömungsmediums am Verdampfereintritt unter Berücksichtigung für den aktuellen Massenstrom des Heizgases
- 20 charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt wird. Der Massenstromkennwert, der dabei vorzugsweise in Form eines Messwerts vorliegt, alternativ aber auch mittelbar über weitere Parameter unter Rückgriff auf hinterlegte Korrelations- oder sonstige Kennwerte errechnet werden kann, wird dabei
- 25 vorteilhafterweise zunächst in den so genannten „Pinchpoint“ des Dampferzeugers, also in die Temperaturdifferenz zwischen der Austrittstemperatur des Rauchgases und der Siedetemperatur des Strömungsmediums am Verdampfereintritt umgerechnet, wobei diese Temperaturdifferenz zweckmäßigerweise zu einer
- 30 anhand des Drucks am Verdampfereintritt ermittelten Siedetemperatur des Strömungsmediums hinzuaddiert und aus dieser Summe die Enthalpie des Heizgases am Verdampferaustritt ermittelt wird.
- 35 Der Ermittlung der Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche wird vorteilhafterweise einerseits anhand geeigneter Messwerte wie beispielsweise des Drucks und der Temperatur des Strömungsmediums beim Verdamp-

fereintritt die ermittelte Ist-Enthalpie zugrunde gelegt. Zusätzlich wird in Abhängigkeit oder unter Berücksichtigung des gewünschten Dampfzustands, beispielsweise der spezifizierten Dampfparameter oder auch des Dampfgehalts am Verdampferaustritt, unter Berücksichtigung des aktuellen Drucks des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche ein Sollwert für dessen Enthalpie am Verdampferaustritt vorgegeben.

Der Durchlaufdamperzeuger kann dabei in einem so genannten „Benson-Kontroll-Modus“ betrieben werden. Dabei liegt zwar im Regelfall im „Benson-Kontroll-Modus“ am Austritt der Verdampferheizfläche Überhitzung des Strömungsmediums vor. Es kann jedoch in diesem Modus die Überspeisung eines der Verdampferheizfläche nachgeschalteten Wasserspeichers in Kauf genommen und den nachfolgenden Heizflächen teilweise noch unverdampftes Strömungsmedium zugeführt werden, so dass erst in den nachfolgenden Heizflächen die vollständige Verdampfung des Strömungsmediums erfolgt. In einem derartigen Modus kann insbesondere als gewünschter Dampfparameter die Einstellung einer um eine vorgegebene Temperaturdifferenz von beispielsweise 35 °C oberhalb der Sättigungstemperatur des Strömungsmediums liegenden Solltemperatur für das Strömungsmedium am Austritt des Verdampfers vorgegeben werden. Gerade bei einer derartigen Betriebsweise des Dampferzeugers kann es wünschenswert sein, den aktuellen Betriebszustand von der Verdampferheizfläche nachgeschalteten Überhitzerheizflächen zugeordneten Einspritzkühlern geeignet zu berücksichtigen, indem deren Kühlbedarf auf eine geeignete Mehrbespeisung des Systems mit Speisewasser verlagert wird. Dazu wird vorteilhafterweise bei der Vorgabe des Sollwerts für die Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche ein aktueller Kühlbedarf bei der Verdampferheizfläche nachgeschalteten Einspritzkühlern berücksichtigt. Die Soll-Frischdampf-Temperatur soll somit insbesondere so weit wie möglich durch eine geeignete Einstellung des Speisewasserstroms erreicht werden, so dass der zusätzliche Kühlbedarf bei den Einspritzkühlern besonders gering gehalten werden kann. Umgekehrt kann auch für den Fall, dass eine zu geringe Frisch-

dampf-Temperatur festgestellt wird, der Enthalpie-Sollwert des Strömungsmediums am Verdampferaustritt geeignet erhöht werden, so dass eine entsprechend gering bemessene Speisewassermenge über den solchermaßen geänderten Sollwert für den
5 Speisewassermassenstrom zugeführt wird.

Alternativ kann der Dampferzeuger auch in einem so genannten „Level Control Mode“ betrieben werden, bei dem der Wasserstand in einem der Verdampferheizfläche nachgeschalteten Wasserspeicher variiert und nachgeregelt wird, wobei ein Überspeisen des Wasserspeichers möglichst vermieden werden sollte. Dabei wird der Wasserstand innerhalb des Wasserspeichers soweit möglich in einem vorgegebenen Sollbereich gehalten, wobei in vorteilhafter Ausgestaltung für den Sollwert für den
10 Speisewassermassenstrom ein Füllstands-Korrekturwert berücksichtigt wird, der die Abweichung des Iststands des Füllstands im Wasserspeicher von einem zugeordneten Sollwert charakterisiert.

20 Bezüglich des Zwangdurchlaufdampferzeugers wird die genannte Aufgabe gelöst, indem eine einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms zugeordnete Speisewasserdurchflussregelung zur Vorgabe des Sollwerts für den Speisewassermassenstrom anhand des genannten Verfahrens ausgelegt ist.

25 Der Zwangdurchlaufdampferzeuger ist dabei in besonders vorteilhafter Weise als Abhitzedampferzeuger ausgestaltet, der heizgasseitig mit dem Abgas aus einer zugeordneten Gasturbinenanlage beaufschlagt ist.

30 Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die gezielte Berücksichtigung eines für die aktuelle Temperatur des Rauchgases beim Eintritt in den Heizgaskanal und/oder für den aktuellen Massenstrom des Rauchgases charakteristischen Kennwerts eine prädiktive oder
35 vorbeugende Bestimmung eines am erwarteten Bedarf besonders weit gehend orientierten Speisewasser-Massenstromsollwerts ermöglicht ist, wobei selbst für den Fall einer Nutzung des Dampferzeugers als Abhitzekessel und einer demzufolge nur

mangelnden Korrelation der entsprechenden Enthalpiekennwerte mit dem Leistungs- oder Förderungskennwert der Anlage ein besonders zuverlässiges und stabiles Regelverhalten erreichbar ist. Damit ist eine besonders zuverlässige prädiktive Anpassung des Speisewasserdurchflusses durch die Verdampferheiz-
5 fläche an den aktuellen oder erwarteten Wärmeeintrag der Dampferheizfläche auf besonders einfache und zuverlässige Weise in allen möglichen Betriebszuständen des Durchlauf-
dampferzeugers ermöglicht, wobei insbesondere die Abweichung
10 der spezifischen Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche vom Sollwert besonders gering gehalten werden kann.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer
15 Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 und 2 jeweils einen Zwangdurchlaufdampferzeuger mit zugeordneter Speisewasserdurchflussregelung.

20 Gleiche Teile sind in beiden Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

Die Zwangdurchlaufdampferzeuger 1, 1' gemäß den FIG 1, 2 weisen jeweils einen auch als Economizer bezeichneten Vorwärmer
25 2 für als Strömungsmedium vorgesehenes Speisewasser auf, der sich in einem nicht näher dargestellten Gaszug befindet. Dem Vorwärmer 2 ist strömungsmediumsseitig eine Speisewasserpumpe 3 vor- und eine Verdampferheizfläche 4 nachgeschaltet. Aus-
gangsseitig ist die Verdampferheizfläche 4 strömungsmediums-
30 seitig über einen Wasserspeicher 6, der insbesondere auch als Wasserabscheider oder Abscheideflasche ausgestaltet sein kann, mit einer Anzahl nachgeschalteter Überhitzerheizflächen
8, 10, 12 verbunden, die ihrerseits zur Anpassung der Dampf-
temperaturen und dergleichen mit Einspritzkühlern 14, 16 ver-
35 sehen sein können. Der Zwangdurchlaufdampferzeuger 1, 1' ist jeweils als Abhitzekessel oder Abhitzedampferzeuger ausgestaltet, wobei die Heizflächen, also insbesondere der Vorwärmer 2, die Verdampferheizfläche 4 sowie die Überhitzerheiz-

flächen 8, 10, 12 in einem heizgasseitig mit dem Abgas aus einer zugeordneten Gasturbinenanlage beaufschlagten Heizgas-kanal angeordnet sind.

5 Der Zwangdurchlaufdamperzeuger 1, 1' ist für eine geregelte Beaufschlagung mit Speisewasser ausgelegt. Dazu ist der Speisewasserpumpe 3 ein von einem Stellmotor 20 angesteuertes Drosselventil 22 nachgeschaltet, so dass über geeignete Ansteuerung des Drosselventils 22 die von der Speisewasserpumpe
10 3 in Richtung des Vorwärmers 2 geförderte Speisewassermenge oder der Speisewasser-Massenstrom einstellbar ist. Zur Ermittlung eines aktuellen Kennwerts für den zugeführten Speisewasser-Massenstrom ist dem Drosselventil 22 eine Messeinrichtung 24 zur Ermittlung des Speisewasser-Massenstroms $\dot{M}$
15 durch die Speisewasserleitung nachgeschaltet. Der Stellmotor 20 ist über ein Regelelement 28 angesteuert, das eingangsseitig mit einem über eine Datenleitung 30 zugeführten Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewasser-Massenstrom $\dot{M}$ und mit dem über eine Messeinrichtung 24 ermittelten aktuellen Istwert des Speisewasser-Massenstroms $\dot{M}$ beaufschlagt ist. Durch Differenzbildung zwischen diesen beiden Signalen wird an den Regler 28 ein Nachführungsbedarf übermittelt, so dass bei einer Abweichung des Ist- vom Sollwert eine entsprechende Nachführung des Drosselventils 22 über die Ansteuerung des Motors 20 erfolgt.
25

Zur Ermittlung eines besonders bedarfsgerechten Sollwerts $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ in der Art einer prädiktiven, vorausschauenden oder am zukünftigen oder aktuellen
30 Bedarf orientierten Einstellung des Speisewassermassenstroms ist die Datenleitung 30 eingangsseitig mit einer zur Vorgabe des Sollwerts $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ ausgelegten Speisewasserdurchflussregelung 32, 32' verbunden. Diese ist dafür ausgelegt, den Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ anhand einer Wärmestrombilanz in der Verdampferheizfläche 4 zu ermitteln, wobei der Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ anhand des Verhältnisses aus dem aktuell in der Verdampferheizfläche 4 vom Heizgas auf das
35

Strömungsmedium übertragenen Wärmestrom einerseits und einer im Hinblick auf den gewünschten Frischdampfzustand vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche 4 andererseits vorgegeben wird. Eine Nutzung eines derartigen Konzepts der Bereitstellung eines Sollwerts für den Speisewassermassenstrom auf der Grundlage einer Wärmebilanz selbst für einen Zwangsdurchlaufverdampferzeuger 1, 1' in Bauweise als Abhitzekessel ist in den Ausführungsbeispielen gemäß FIG 1, FIG 2 insbesondere dadurch erreicht, dass der vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom unter Berücksichtigung eines für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Temperaturkennwerts und eines für den aktuellen Massenstrom des Heizgases charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt wird.

Dazu weist die Speisewasserdurchflussregelung 32 ein Dividierglied 34 auf, dem als Zähler ein geeigneter Kennwert für den aktuell in der Verdampferheizfläche 4 vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragenen Wärmestrom und als Nenner ein im Hinblick auf den gewünschten Frischdampfzustand geeignet vorgegebener Kennwert für die gewünschte Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche 4 zugeführt wird. Zählerseitig ist das Dividierglied 34 dabei eingangseitig mit einem Funktionsmodul 36 verbunden, das anhand eines zugeführten, für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Temperaturkennwerts als Ausgangswert einen Wert für die Enthalpie des Heizgases am Verdampfereintritt ausgibt. Im Ausführungsbeispiel ist dabei die Zuführung eines für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Messwerts als Temperaturkennwert vorgesehen. Der für die Enthalpie des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristische Kennwert wird auf ein Subtrahierglied 38 ausgegeben, wo von diesem Kennwert ein von einem Funktionsmodul 40 gelieferter Kennwert für die Enthalpie des Gases am Verdampferauslass abgezogen wird.

Zur Ermittlung der Enthalpie des Heizgases am Verdampferauslass wird dem Funktionsglied 40 eingangsseitig von einem Summierglied 42 die Summe zweier Temperaturwerte gebildet. Dabei wird einerseits die über ein Funktionsglied 44, das eingangsseitig mit einem Drucksensor 46 verbunden ist, anhand des Drucks des Strömungsmediums beim Verdampfereintritt ermittelte Sättigungstemperatur des Strömungsmediums berücksichtigt. Andererseits wird über ein Funktionsglied 48, dem seinerseits eingangsseitig über ein weiteres Funktionsglied 50 ein für den aktuellen Massenstrom des Heizgases charakteristischer Massenstromkennwert zugeführt wird, der so genannte „Pinch-point“, nämlich die aus dem Massenstrom des Heizgases ermittelte Temperaturdifferenz der Heizgastemperatur am Verdampferaustritt minus der Siedetemperatur des Strömungsmediums am Verdampfereintritt, berücksichtigt. Aus diesen beiden über das Summierglied 42 addierten Temperaturbeiträgen wird vom Funktionsbaustein 40 somit die Enthalpie des Heizgases am Verdampferaustritt, gegebenenfalls unter Rückgriff auf geeignete Tabellen, Diagramme oder dergleichen, bereitgestellt. Ausgangsseitig liefert das Subtrahierglied 38 somit die Enthalpiedifferenz oder -bilanz des Heizgases, also die Differenz aus Heizgasenthalpie am Verdampfereintritt und Heizgasenthalpie am Verdampferaustritt.

Diese Enthalpiedifferenz wird an ein Multiplizierglied 52 weitergegeben, dem ebenfalls der charakteristische Massenstromkennwert, der im Übrigen als aktuell erfasster Messwert vorliegen kann, ebenfalls zugeführt wird. Ausgangsseitig liefert das Multiplizierglied 52 somit einen Kennwert für die vom Rauchgas an die Verdampferheizfläche 4 abgegebene Wärmeleistung.

Um anhand dieser vom Heizgas abgegebenen Wärmeleistung den tatsächlich auf das Strömungsmedium übertragenen Wärmestrom ermitteln zu können, ist zunächst noch eine Korrektur um Wärmeein- und/oder -ausspeichereffekte in die Komponenten der Verdampferheizfläche 4, insbesondere in die Metallmassen, vorgesehen. Dazu wird der genannte Kennwert für die vom Heiz-

gas abgegebene Wärmeleistung zunächst einem Subtrahierglied 54 zugeführt, wo ein für die Wärmeein- oder -ausspeicherung in die Verdampferbauteile charakteristischer Korrekturwert abgezogen wird. Dieser wird von einem Funktionsglied 56 bereitgestellt. Dieses ist eingangsseitig seinerseits mit dem Ausgangswert eines weiteren Funktionsgliedes 58 beaufschlagt, indem ein mittlerer Temperaturwert für die Metallmassen der Verdampferheizfläche 4 ermittelt wird. Dazu ist das weitere Funktionsglied 58 eingangsseitig mit einem im Wasserspeicher 6 angeordneten Druckgeber 60 verbunden, so dass das weitere Funktionsglied 58 die mittlere Temperatur der Metallmassen anhand des Drucks des Strömungsmediums, z. B. durch Gleichsetzung mit der zu diesem Druck gehörigen Siedetemperatur, im Wasserspeicher 6 ermitteln kann.

Ausgangsseitig übergibt das Subtrahierglied 54 somit einen für die vom Heizgas abgegebene Wärmeleistung, vermindert um die in das Metall der Verdampferheizfläche 4 eingespeicherte Wärmeleistung, und somit einen für die an das Strömungsmedium abzugebende Wärmeleistung charakteristischen Kennwert.

Dieser Kennwert wird im Dividierglied 34 als Zähler verwendet, der dort durch einen Nenner geteilt wird, der einer im Hinblick auf den gewünschten Frischdampfzustand vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche 4 entspricht, so dass aus dieser Division oder diesem Verhältnis der Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom $\dot{M}$ gebildet werden kann. Zur Bereitstellung des Nenners, also des Kennwerts für die gewünschte Soll-Enthalpieerhöhung auf der Wasser-Dampf- oder Strömungsmediumsseite, ist das Dividierglied 34 eingangsseitig mit einem Subtrahierglied 70 verbunden. Dieses ist eingangsseitig mit einem von einem Funktionsglied 72 bereitgestellten Kennwert für den gewünschten Sollwert für die Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt beaufschlagt. Des Weiteren ist das Subtrahierglied 70 eingangsseitig mit einem von einem Funktionsmodul 74 bereitgestellten Kennwert oder Istwert für die aktuelle Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampfereintritt be-

aufschlägt, der im Subtrahierglied 70 vom genannten Kennwert für den Sollwert der Enthalpie am Verdampferaustritt abgezogen wird. Eingangsseitig ist das Funktionsmodul 74 dabei zur Bildung des genannten Kennwerts für die Ist-Enthalpie am Verdampfereintritt mit dem Drucksensor 46 und mit einem Temperatursensor 76 verbunden. Durch die Differenzbildung im Subtrahierglied 70 wird somit die in Abhängigkeit vom gewünschten Frischdampfzustand in das Strömungsmedium in der Verdampferheizfläche 4 einzubringende Enthalpieerhöhung ermittelt, die als Nenner im Dividierglied 34 verwendet werden kann.

Der Zwangdurchlaufdamperzeuger 1 und der Zwangdurchlaufdamperzeuger 1' gemäß den FIG 1 bzw. 2 unterscheiden sich hinsichtlich der Ausgestaltung ihrer Speisewasserdurchflussregelung 32, 32' insbesondere bzgl. der Bildung des Sollwerts für die Enthalpie am Verdampferaustritt und somit hinsichtlich der eingangsseitigen Beaufschlagung des Funktionsmoduls 72. Der Zwangdurchlaufdamperzeuger 1 gemäß FIG 1 ist dabei für einen Betrieb im so genannten „Level Control Mode“ ausgelegt, bei dem der Wasserstand im Wasserspeicher 6 geregelt wird, wobei an die dem der Verdampferheizfläche 4 nachgeschalteten Überhitzerheizflächen 8, 10, 12 ausschließlich Dampf weitergegeben wird, und das verdampferaustrittsseitig noch mitgeführte Wasser im Wasserspeicher 6 abgeschieden wird. In diesem Betriebsmodus wird das Funktionsmodul 72 eingangsseitig einerseits mit einem vom Drucksensor 60 gelieferten Messwert für den Druck im Wasserspeicher 6 beaufschlagt. Andererseits wird dem Funktionsmodul 72 über einen zugeordneten Eingang 78 ein für den gewünschten Frischdampfzustand charakteristischer Parameter, beispielsweise ein gewünschter Dampfgehalt am Verdampferaustritt, zugeführt. Aus diesem Parameter gemeinsam mit dem genannten Druckkennwert wird anschließend im Funktionsmodul 72 der Sollwert für die Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt gebildet.

Bei der Ausgestaltung nach FIG 1 liefert das Dividierglied 34 anhand der genannten Division ausgangseitig einen Sollwert für den Speisewassermassenstrom, der anhand der genannten

Wärmebilanz ausgerichtet und ermittelt ist. Dieser Sollwert wird anschließend in einem nachgeschalteten Addierglied 80 aber noch korrigiert um einen Korrekturwert, der eine über den Speisewasserzufluss gewünschte Veränderung des Pegel-

5 stands im Wasserspeicher 6 wiedergibt. Dazu wird der Pegelstand im Wasserspeicher 6 über einen Füllstandssensor 82 erfasst. Dieser Istwert für den Füllstand wird in einem Subtrahierglied 84 von einem hinterlegten oder auf andere Weise vorgebbaren Sollwert für den Füllstand im Wasserspeicher 6

10 abgezogen. Anhand der dabei festgestellten Abweichung des Iststands des Füllstands im Wasserspeicher 6 vom zugeordneten Sollwert wird in einem nachfolgenden Stellglied 86 ein effektiver Speisewasser-Massenstromwert ermittelt, mit dem der Wasserspeicher 6 zur Korrektur seines Füllstands beaufschlagt

15 werden soll. Dieser Korrekturwert wird im Addierglied 80 zum anhand der Wärmestrombilanz ermittelten Sollwert für den Speisewassermassenstrom hinzuaddiert, so dass als Sollwert $\dot{M}_s$ für den Speisewassermassenstrom ein aus beiden Anteilen zusammengesetzter Wert ausgegeben wird.

20 Demgegenüber ist der Zwangdurchlaufdamperzeuger 1' gemäß FIG 2 für einen Betrieb im so genannten „Benson Control Modus“ ausgelegt, bei dem eine Überspeisung des auch als Wasserabscheider vorgesehenen Wasserspeichers 6 und die vollständige Verdampfung des Strömungsmediums erst in den nach-

25 folgenden Überhitzerheizflächen 8, 10, 12 möglich ist. Bei dieser Betriebsvariante wird das Funktionsglied 72, über das der Sollwert für die Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt ausgegeben werden soll, eingangsseitig ebenfalls einerseits mit dem vom Drucksensor 60 ermittelten Istwert für den Druck im Wasserabscheider 6 beaufschlagt. Wei-

30 terhin ist dem Funktionsmodul 72 eingangsseitig ein weiteres Funktionsmodul 90 vorgeschaltet, das anhand des vom Drucksensor 60 ermittelten Ist-Drucks im Wasserspeicher 6 anhand einer hinterlegten Funktionalität oder des gewünschten Frisch-

35 dampfzustands einen geeigneten Sollwert für die Temperatur des Strömungsmediums im Wasserspeicher 6 ermittelt. Beispielsweise könnte für einen Betrieb der Anlage im „Benson

Control Modus" als Sollwert für die Temperatur hierbei ein Temperaturwert hinterlegt sein, der der Sättigungstemperatur des Strömungsmediums beim ermittelten Druck zuzüglich einer vorgesehenen Mindestüberhitzung von beispielsweise 35 °C entspricht. Das Funktionsmodul 72 ermittelt aus diesem Sollwert für die Temperatur unter Berücksichtigung des aktuellen Druckwerts den genannten Sollwert für die Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt.

10 Im Ausführungsbeispiel nach FIG 2 wird dieser vom Funktionsmodul 72 bereitgestellte Sollwert, der im Wesentlichen an den Eigenschaften des Strömungsmediums als solches orientiert ist, anschließend in einem nachgeschalteten Addierglied 92 noch um einen weiteren Korrekturwert verändert. Dieser von
15 einem Funktionsmodul 94 gelieferte weitere Korrekturwert berücksichtigt im Wesentlichen in der Art einer Trimmfunktion die Abweichung der aktuell festgestellten Frischdampf-temperatur von der im Hinblick auf den gewünschten Frischdampf-
20 derartige Abweichung kann sich insbesondere dadurch bemerkbar machen, dass bei zu hoher Frischdampf-temperatur in den Einspritzkühlern 14, 16 Kühlbedarf entsteht und somit die Beaufschlagung der Einspritzkühler 14, 16 mit Kühlmedium erforderlich ist. Falls ein derartiger Massenstrom zu den Einspritz-
25 kühlern 14, 16 festgestellt wird, ist es Auslegungsziel des Funktionsmoduls 94, diesen Kühlbedarf von den Einspritzkühlern 14, 16 weg und hin zu einer erhöhten Speisewasserzufuhr zu verlagern. Bei einem dementsprechend festgestellten Kühlbedarf in den Einspritzkühlern 14, 16 wird dementsprechend im
30 Funktionsmodul 94 die gewünschte Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt abgesenkt, um den Kühlbedarf zu minimieren. Andernfalls, also wenn eine zu niedrige Frischdampf-temperatur festgestellt wird, wird über den vom Funktionsmodul 94 bereitgestellten Korrekturwert und dessen Additi-
35 on im Addiermodul 92 der Enthalpie-Sollwert erhöht.

Zur Absicherung umfasst die Speisewasserdurchflussregelung 32' des Zwangdurchlaufdamperzeugers 1' nach FIG 2 noch eine

nachgelagerte direkte Regelschleife, bei der in einem Funktionsmodul 100 anhand der Messwerte im Wasserspeicher 6 ein Istwert für die Enthalpie des Strömungsmediums am Verdampferaustritt ermittelt und in einem Differenziermodul 102 mit der gewünschten Enthalpie, also mit dem Soll-Enthalpiewert, verglichen wird. Durch die Differenzbildung im Differenziermodul 102 wird dabei die Soll-Ist-Abweichung festgestellt, die über einen nachgeschalteten Regler 104 in einem Addierglied 106 dem vom Dividierglied 34 bereitgestellten Sollwert für den Speisewassermassenstrom überlagert wird. Diese Überlagerung geschieht geeignet zeitlich verzögert und gedämpft, so dass dieser Regeleingriff lediglich im Bedarfsfall, also bei zu grober Regelabweichung, eingreift.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Durchlaufdampferzeugers mit einer Verdampferheizfläche (4), bei dem einer Vorrichtung zum
5 Einstellen des Speisewassermassenstroms ($\dot{M}$) ein Sollwert ($\dot{M}_s$) für den Speisewassermassenstrom ($\dot{M}$) zugeführt wird, der anhand des Verhältnisses aus dem aktuell in der Verdampferheizfläche (4) vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragenen Wärmestrom einerseits und einer im Hinblick auf den
10 gewünschten Frischdampfzustand vorgegebenen Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche (4) andererseits vorgegeben wird, wobei der vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom unter Berücksichtigung eines für die aktuelle Temperatur des Heizgases am Verdampfereintritt charakteristischen Temperaturkennwerts und eines
15 für den aktuellen Massenstrom des Heizgases charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als charakteristischer
20 Temperaturkennwert und/oder als charakteristischer Massenstromkennwert jeweils ein aktueller Messwert berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der vom Heizgas
25 auf das Strömungsmedium übertragene Wärmestrom anhand der Enthalpiedifferenz des Heizgases zwischen Verdampfereintritt und Verdampferaustritt ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Enthalpiedifferenz
30 des Heizgases zur Ermittlung des vom Heizgas auf das Strömungsmedium übertragenen Wärmestroms um einen für die Wärme- ein- oder -ausspeicherung in die Verdampferbauteile charakteristischen Korrekturwert modifiziert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die aktuelle
35 Enthalpie des Heizgases am Verdampferaustritt anhand des Drucks des Strömungsmediums am Verdampfereintritt unter Be-

rücksichtigung des charakteristischen Massenstromkennwerts ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Soll-Enthalpieerhöhung des Strömungsmediums in der Verdampferheizfläche (4) unter Berücksichtigung des aktuellen Drucks des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche (4) vorgegeben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem bei der Vorgabe des Sollwerts für die Enthalpie des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferheizfläche (4) ein aktueller Kühlbedarf bei der Verdampferheizfläche (4) nachgeschalteten Einspritzkühlern (14, 16) berücksichtigt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem für den Sollwert ($\dot{M}_s$) für den Speisewassermassenstrom ($\dot{M}$) ein Füllstands-Korrekturwert berücksichtigt wird, der die Abweichung des Iststands des Füllstands in einem der Verdampferheizfläche (4) nachgeschalteten Wasserspeicher (6) von einem zugeordneten Sollwert charakterisiert.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem für den Sollwert ($\dot{M}_s$) für den Speisewassermassenstrom ($\dot{M}$) ein Enthalpie-Korrekturwert berücksichtigt wird, der die Abweichung des Iststandes der Enthalpie am Austritt der Verdampferheizfläche (4) von einem zugeordneten Sollwert charakterisiert.

10. Zwangsdurchlaufdampferzeuger (1, 1') mit einer Verdampferheizfläche (4) und mit einer Vorrichtung zum Einstellen des Speisewassermassenstroms ($\dot{M}$), die anhand eines Sollwerts ($\dot{M}_s$) für den Speisewassermassenstrom ($\dot{M}$) geführt ist, wobei eine zugeordnete Speisewasserdurchflussregelung (32, 32') zur Vorgabe des Sollwerts ($\dot{M}_s$) anhand des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 ausgelegt ist.

11. Zwangdurchlaufdamperzeuger (1, 1') nach Anspruch 10, der heizgasseitig mit dem Abgas aus einer zugeordneten Gasturbinenanlage beaufschlagt ist.

FIG 1

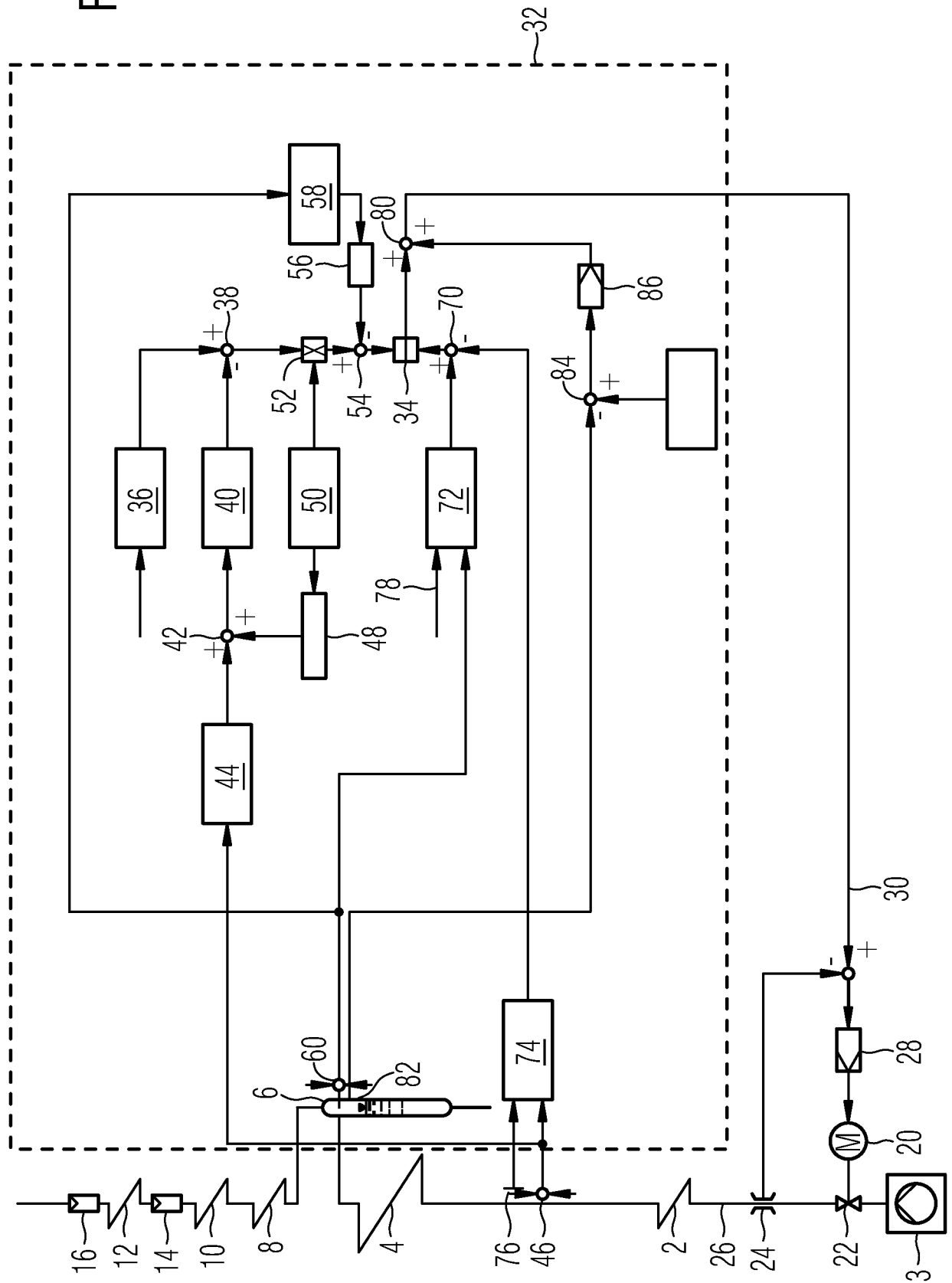


FIG 2

