

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 2 128 551 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.12.2009 Patentblatt 2009/49

(51) Int Cl.:
F28G 15/00 (2006.01) **F22B 37/56 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: 08009815.5

(22) Anmeldetag: 29.05.2008

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA MK RS

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **Friedrich, Michael
60325 Frankfurt (DE)**

- **Grieb, Herbert
76316 Malsch (DE)**
- **Müller-Heinzerling, Thomas, Dr.
76297 Stutensee (DE)**
- **Pfeiffer, Bernd-Markus, Dr.
76744 Wörth (DE)**
- **Schüler, Michael
60528 Frankfurt (DE)**

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

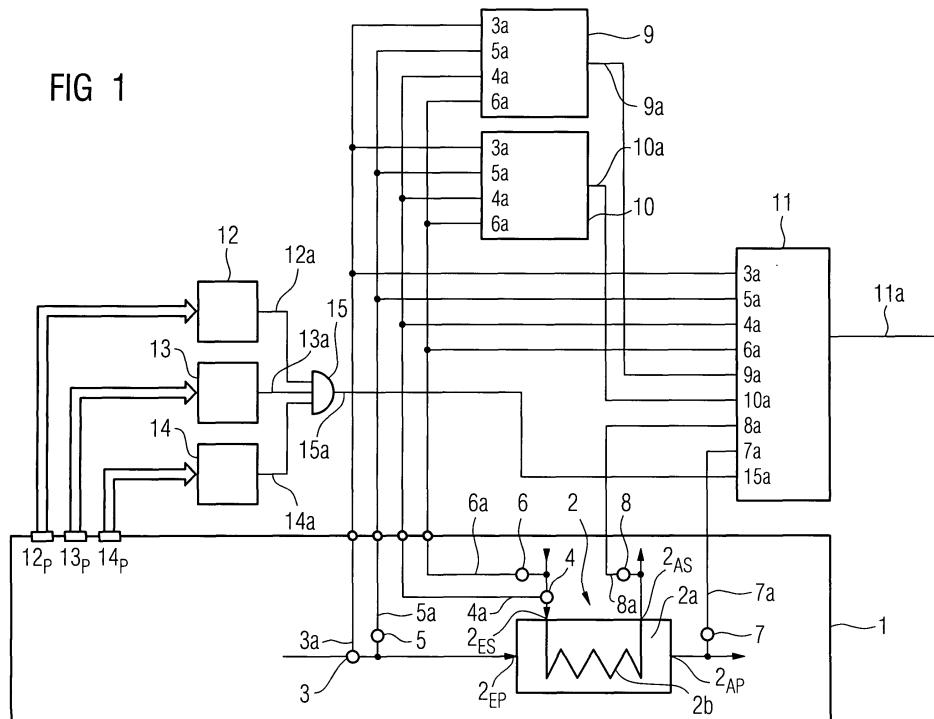
(54) Überwachung von Wärmetauschern in Prozessleitsystemen

(57) Ein Verfahren zur Überwachung der Wirksamkeit eines Wärmetauschers, bei dem Wärme von einem ersten Medium in ein zweites Medium strömt, ist **dadurch gekennzeichnet, dass** ein aktueller Wärimestrom erfasst wird und mit wenigstens einer einem jeweils vorbestimmten Verschmutzungsgrad des Wärmetaus-

schers entsprechenden Referenz-Wärimestrom verglichen wird.

Des Weiteren ist eine Einrichtung zur Steuerung einer Anlage (1) mit wenigstens einem Wärmetauscher (2) **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Speicher (9, 10) vorhanden ist, in dem wenigstens ein Referenz-Wärimestrom des Wärmetauschers (2) abgespeichert ist.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, zur Überwachung der Wirksamkeit eines Wärmetauschers, bei dem Wärme von einem ersten Medium in ein zweites Medium strömt. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Einrichtung zur Steuerung einer Anlage mit wenigstens einem Wärmetauscher.

[0002] Wärmetauscher sind technische Apparate, in denen beispielsweise Fluide einer ersten Temperatur einen Teil ihrer Wärme an beispielsweise Fluide einer unterhalb der ersten Temperatur liegenden zweiten Temperatur abgeben. So kann beispielsweise ein erstes Medium (Produktmedium) mittels eines zweiten Mediums (Servicemedium) gekühlt oder erwärmt werden. Das Servicemedium kann beispielsweise Kühlwasser oder Heizdampf sein. Das Servicemedium fließt üblicherweise entweder durch eine Rohrleitungsanordnung, welche innerhalb des Produktmediums angeordnet ist, oder umströmt die Rohrleitungsanordnung, die vom Produktmedium durchströmt wird.

[0003] In Abhängigkeit der Beschaffenheit des Produktmediums beziehungsweise Servicemediums können sich innerhalb oder außerhalb an der Rohrleitungsanordnung Beläge bilden (so genanntes Fouling). Durch die Ablagerungen reduziert sich die Wirksamkeit des Wärmetauschers. Wenn die Stärke der Beläge ein bestimmtes Maß überschritten hat, ist es daher erforderlich, eine Reinigung der Rohrleitungsanordnung vorzunehmen. Hierzu muss der betreffende Wärmetauscher in der Regel außer Betrieb genommen werden. Dies ist zum einen sehr aufwendig und verursacht zum anderen erhebliche Kosten.

[0004] Nachteilig ist insbesondere, dass die Beläge häufig von außen nicht sichtbar sind. Daher ist nicht erkennbar, wann eine Reinigung erforderlich ist. Eine Reinigung wird häufig erst dann vorgenommen, wenn durch die schlechte Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers verursachte Probleme auftreten. Um dies zu vermeiden, muss der Wärmetauscher vorbeugend in regelmäßigen Abständen gereinigt werden. Dies ist ebenfalls nachteilig, da der Wärmetauscher in einem solchen Fall auch dann gereinigt wird, wenn die Ablagerungen noch nicht sehr stark sind.

[0005] Es sind zwar Simulationsprogramme bekannt, welche zur verfahrenstechnischen Auslegung und Dimensionierung von Wärmetauschern in der Planungsphase einer Anlage verwendet werden, welche auf einer physikalisch-thermodynamischen Modellbildung des Wärmetauschers beruhen, der dafür rechnerisch in zahlreiche Segmente aufgeteilt ist, jedoch ist es nicht bekannt, diese Simulationsprogramme für eine Online-Überwachung von Wärmetauschern im laufenden Betrieb zu verwenden. Daher gibt es bisher keine zufriedenstellende Lösung, um die Überwachung von Wärmetauschern innerhalb eines Prozessleitsystems zu realisieren, insbesondere wenn die Wärmetauscher in der Betriebsphase an verschiedenen Arbeitspunkten gefahren werden, weil beispielsweise Durchfluss oder Temperatur des Produkts nicht konstant sind.

[0006] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein eingangs genanntes Verfahren beziehungsweise eine eingangs genannte Steuerung derart auszubilden, dass eine Aussage über die Wirksamkeit eines Wärmetauschers vorgenommen werden kann.

[0007] Die Lösung dieser Aufgabe ergibt sich aus den Merkmalen des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0008] Gemäß der Erfindung ist ein Verfahren zur Überwachung der Wirksamkeit eines Wärmetauschers, bei dem Wärme von einem ersten Medium in ein zweites Medium strömt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein aktueller Wärmestrom erfasst wird und mit wenigstens einem einem jeweils vorbestimmten Verschmutzungsgrad des Wärmetauschers entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen wird.

[0009] Des Weiteren ist gemäß der Erfindung eine Einrichtung zur Steuerung einer Anlage mit wenigstens einem Wärmetauscher **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Speicher vorhanden ist, in dem wenigstens ein Referenz-Wärmestrom des Wärmetauschers abgespeichert ist.

[0010] Dadurch, dass ein aktueller Wärmestrom erfasst wird und mit wenigstens einem einem jeweils vorbestimmten Verschmutzungsgrad des Wärmetauschers entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen wird, lässt sich über die Wirksamkeit des Wärmetauschers eine sehr zuverlässige Aussage machen; denn durch den erfindungsgemäßen Gedanken, den Wärmestrom selbst als Maß für die Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers heranzuziehen, wird eine Größe als Maß für die Wirksamkeit des Wärmetauschers verwendet, die die wesentlichste Funktion des Wärmetauschers repräsentiert. Hierdurch entfallen Probleme, welche bei einer mittelbaren Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers, d. h. bei einer Verwendung einer sonstigen den Wärmetauscher charakterisierenden Größe zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers, auftreten können.

[0011] Die Ermittlung des aktuellen Wärmestroms (\bar{Q}_{act}) kann dadurch geschehen, dass der Durchfluss (F_P) des Produktmediums durch den Wärmetauscher, der Durchfluss (F_S) des Servicemediums durch den Wärmetauscher, die Temperatur ($T_{P,Ein}$) des Produktmediums am Eingang des Produktmediums in den Wärmetauscher, die Temperatur ($T_{P,Aus}$) des Produktmediums am Ausgang des Produktmediums aus dem Wärmetauscher, die Temperatur ($T_{S,Ein}$) des Servicemediums am Eingang des Servicemediums in den Wärmetauscher und die Temperatur ($T_{S,Aus}$) des Servicemediums am Ausgang des Servicemediums aus dem Wärmetauscher erfasst werden. Anhand der Messwerte der Durchflüsse und der Temperaturen sowie der Stoffdaten $c_{P,P}$, $c_{P,S}$, ρ_P und ρ_S lässt sich aus den stationären Energiebilanzen für Produkt- und Servicemedium innerhalb des Wärmetauschers der aktuelle Wärmestrom für einen flüssig-

flüssig Wärmetauscher zuverlässig und aufwandsarm gemäß den folgenden Formeln berechnen:

$$\dot{Q}_P = c_{P,P} \cdot \rho_P \cdot F_P \cdot (T_{P,Aus} - T_{P,Ein})$$

5

$$\dot{Q}_S = c_{P,S} \cdot \rho_S \cdot F_S \cdot (T_{S,Aus} - T_{S,Ein})$$

10 [0012] Wegen des Energieerhaltungssatzes gilt theoretisch:

$$\dot{Q}_P = -\dot{Q}_S$$

15

[0013] Wegen Messungenauigkeiten wird für den aktuellen Wärmestrom ein Mittelwert der Absolutbeträge gebildet:

$$20 \quad \dot{Q}_{act} = \frac{1}{2} \cdot (\dot{Q}_P + \dot{Q}_S)$$

wobei

25

\dot{Q}_P der Wärmestrom des Produktmediums,

\dot{Q}_S der Wärmestrom des Servicemediums,

30

\dot{Q}_{act} der aktuelle Wärmestrom,

35

$c_{P,P}$ die Wärmekapazität des Produktmediums,

$c_{P,S}$ die Wärmekapazität des Servicemediums,

35

ρ_P die Dichte des Produktmediums und

40 ρ_S die Dichte des Servicemediums ist.

[0014] In Fällen von Verdampfung oder Kondensation von Produkt- oder Servicemedium im Wärmetauscher müssen diese Formeln entsprechend angepasst werden.

[0015] Mittels des verfahrenstechnischen Simulationsprogramms, mit dem der Wärmetauscher ausgelegt wurde beziehungsweise ausgelegt werden kann beziehungsweise dimensionierbar ist, lässt sich für unterschiedliche Verschmutzungsgrade des Wärmetauschers jeweils ein theoretischer Wärmestrom berechnen, der als Referenz-Wärmestrom verwendet werden kann.

[0016] In vorteilhafter Weise wird die Berechnung des Referenz-Wärmestroms mittels des Simulationsprogramms vorgenommen. Hierdurch erhält man auf einfache Weise Referenz-Wärmeströme, welche den tatsächlichen Wärmeströmen des betreffenden Wärmetauschers bei denselben Randbedingungen sehr nahe kommen. Zur Erhöhung der Genauigkeit werden zur Feinabstimmung von Parametern des Simulationsprogramms an einigen wenigen Arbeitspunkten im sauberen Zustand des Wärmetauschers Messungen vorgenommen.

[0017] Durch einen Vergleich des aktuellen Wärmestroms mit dem mit dem Simulationsprogramm ermittelten Referenz-Wärmefluss beispielsweise im nicht verschmutzten Zustand des Wärmetauschers lässt sich eine zuverlässige Aussage über die aktuelle Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers vornehmen. Entspricht der aktuelle Wärmestrom dem Referenz-Wärmestrom, ist die Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers durch Beläge nicht beeinträchtigt. Mit zunehmender Differenz zwischen dem aktuellen Wärmestrom und dem Referenz-Wärmestrom verringert sich die Leistungsfähigkeit des Wärmetauschers, d. h. haben die Ablagerungen zugenommen. Die Differenz zwischen dem aktuellen Wärmestrom und dem Referenz-Wärmestrom bildet somit ein Maß für die Ablagerungen, d. h. die Verschmutzung des

Wärmetauschers. Je größer die Differenz ist, desto größer sind die Ablagerungen.

[0018] Statt den aktuellen Wärmestrom mit dem Referenz-Wärmestrom des nicht verschmutzten Wärmetauschers zu vergleichen, kann der aktuelle Wärmestrom mit dem Referenz-Wärmestrom des verschmutzten Wärmetauschers verglichen werden. Die Differenz zwischen dem aktuellen Wärmestrom und dem Referenz-Wärmestrom bildet dann ein reziprokes Maß für die Ablagerungen, d. h., je kleiner die Differenz ist, desto größer sind die Ablagerungen.

[0019] In vorteilhafter Weise wird der aktuelle Wärmestrom mit einem einem Verschmutzungsgrad Null entsprechenden Referenz-Wärmestrom und mit einem einem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen. Hierdurch lässt sich ein Kennwert bestimmen, der dem Grad der Verschmutzung des Wärmetauschers von 0 bis 100 % entspricht.

[0020] In vorteilhafter Weise wird der Kennwert dadurch bestimmt, dass der Quotient aus der Differenz zwischen dem aktuellen Wärmestrom und dem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Referenz-Wärmestrom zu der Differenz zwischen dem dem Verschmutzungsgrad Null entsprechenden Referenz-Wärmestrom und dem dem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Referenz-Wärmestrom gebildet wird. Wird der Kennwert, der als Abnutzungsvorrat bezeichnet werden kann, gemäß der Formel

$$\text{HeatPerf} = \frac{\dot{Q}_{\text{act}} - \dot{Q}_{\text{dirty}}}{\dot{Q}_{\text{clean}} - \dot{Q}_{\text{dirty}}} \cdot 100 \%$$

bestimmt, wobei

HeatPerf der Kennwert (Abnutzungsvorrat),

\dot{Q}_{act} der aktuelle Wärmestrom,

\dot{Q}_{dirty} der Referenz-Wärmestrom im verschmutzten Zustand des Wärmetauschers und

\dot{Q}_{clean} der Wärmestrom im sauberen Zustand des Wärmetauschers ist,

[0021] beträgt der Kennwert im sauberen Zustand des Wärmetauschers 100 % und im maximal verschmutzten Zustand des Wärmetauschers 0 %. Der Kennwert kann fortlaufend berechnet werden und in dem Prozessleitsystem, in dem der Wärmetauscher eingebunden ist, als Trend über längere Zeiträume angezeigt werden. Sobald der Kennwert eine spezifizierte Grenze unterschreitet, kann eine Instandhaltungsmeldung erzeugt werden.

[0022] In vorteilhafter Weise liegt dem Referenz-Wärmestrom exakt derselbe Arbeitspunkt, der z. B. als Kombination der beiden Durchflüsse Produktmedium F_P und Servicemedium F_S und der beiden Eingangstemperaturen Produktmedium $T_{P,\text{Ein}}$ und Servicemedium $T_{S,\text{Ein}}$ definiert ist, zugrunde wie dem aktuellen Wärmestrom. Dies wirkt sich sehr vorteilhaft auf die Genauigkeit des erfundungsgemäßen Verfahrens aus. Es können auch andere Größen für die Definition des Arbeitspunktes herangezogen werden, wenn z. B. Phasenübergänge (Verdampfung oder Kondensation) innerhalb des Wärmetauschers auftreten.

[0023] Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Vielzahl von Referenz-Wärmestromen bei unterschiedlichen Arbeitspunkten ermittelt wird und der dem Arbeitspunkt des aktuellen Wärmestromes entsprechende Arbeitspunkt des Referenz-Wärmestroms mittels Interpolation ermittelt wird.

[0024] Hierbei wird zunächst mit Hilfe des verfahrenstechnischen Simulationsprogramms, mit dem der Wärmetauscher ausgelegt wurde beziehungsweise ausgelegt werden könnte, die theoretisch übertragbare Wärmemenge für eine große Zahl von möglichen Arbeitspunkten berechnet. Solche Simulationsrechnungen werden sowohl für den Referenzzustand "frisch gereinigt" als auch für einen Referenzzustand "maximal verschmutzt", bei dem eine Reinigung des Wärmetauschers zwingend erforderlich ist, durchgeführt. Die berechneten Simulationswerte werden als Stützpunkte für jeweils zwei mehrdimensionale Kennfelder mit jeweils mehreren Eingangsgrößen (z. B. jeweils vier Eingangsgrößen) und einer Ausgangsgröße verwendet.

[0025] Nachdem eine Vielzahl von Stützpunkten berechnet wurde, kann dem betreffenden Kennfeld der Referenz-Wärmestrom für den aktuellen Arbeitspunkt entnommen werden. Liegt der Arbeitspunkt zwischen mehreren Stützpunkten, kann der Referenz-Wärmestrom für den aktuellen Arbeitspunkt gegebenenfalls durch eine Kennfeldinterpolation ermittelt werden.

[0026] Die zeitaufwendige Simulationsrechnung kann in vorteilhafter Weise offline im Vorfeld des Betriebs der Prozessanlage beziehungsweise des Wärmetauschers durchgeführt werden. Während des Betriebs der Prozessanlage beziehungsweise des Wärmetauschers ist gegebenenfalls nur noch die Kennfeldinterpolation erforderlich.

[0027] Zur Interpolation wird ein aus der Mathematik bekannter Ansatz verwendet: Es wird zunächst geprüft, in welchem Hyperbelwürfel im hochdimensionalen Gitternetz der Eingangsgrößen sich der aktuelle Arbeitspunkt befindet. Dieser Hyperbelwürfel mit den Simulationswerten aller Eckpunkte wird in den Koordinatenursprung transformiert und normiert. Der gesuchte Ausgangspunkt wird dann durch Auswertung eines multilinear Polynoms berechnet. Ein solches Verfahren lässt sich problemlos in eine Steuerung implementieren.

[0028] Bei einem instationären Übergangsvorgang zwischen verschiedenen Arbeitspunkten wird die Berechnung vorzugsweise vorübergehend eingefroren, da das zugrunde liegende Modell nur die stationäre Wärmebilanz beschreibt. Zur Erkennung, ob ein stationärer Zustand vorliegt, wird vorzugsweise ein in der Patentanmeldung PCT/EP2007/004745 beschriebenes Verfahren verwendet.

[0029] Mittels des erfundungsgemäßen Verfahrens ist es in vorteilhafter Weise möglich, eine Überwachung von Wärmetauschern mit variablem Arbeitspunkt in Prozessleitsystemen vorzunehmen. Durch die direkte Betrachtung des Wär mestroms kann auf schwer interpretierbare Hilfsgrößen zur Bestimmung der Wirksamkeit des Wärmetauschers verzichtet werden, wodurch die damit verbundenen Probleme vermieden werden. Durch den Einsatz des verfahrenstechnischen Simulationsprogramms kann die Arbeitspunktabhängigkeit der übertragbaren Wärmemenge beispielsweise an mehreren hundert Stützstellen vorherberechnet werden, ohne entsprechend zeitaufwendige Messungen an der realen Anlage durchführen zu müssen. Im Idealfall wird das Modell des Wärmetauschers mehrfach verwendet: zunächst in der Planungsphase zur Dimensionierung des Wärmetauschers und dann zu Beginn der Betriebsphase zur Parametrierung der Überwachung.

[0030] Durch die Speicherung der simulierten Werte in einem Kennfeld kann auf die rechenzeitaufwendige Simulation des verfahrenstechnischen Modells im Prozessleitsystem komplett verzichtet werden. Die Funktion zur Online-Überwachung basiert auf einer linearen Kennfeld-Interpolation und lässt sich nahtlos innerhalb eines Prozessleitsystems realisieren.

[0031] Durch die Berechnung von Kennwerten für den frisch gereinigten und den maximal verschmutzten Wärmetauscher kann der tatsächliche Abnutzungsvorrat des Wärmetauschers berechnet werden. Wenn man im laufenden Betrieb beobachtet, dass sich der Abnutzungsvorrat langsam auf den Wert Null zu bewegt, können entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen sinnvoll geplant werden, beispielsweise zwischen zwei Chargen einer Batch-Anlage oder im Rahmen eines anderweitigen geplanten Anlagenstillstands bei einer kontinuierlich arbeitenden Anlage.

[0032] Durch das Einfrieren der Berechnung bei instationären Übergangsvorgängen werden Fehlalarme vermieden.

[0033] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines besonderen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung.

[0034] Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer einen Wärmetauscher aufweisenden Prozessanlage mit einem die Überwachung des Wärmetauschers betreffenden Teil einer Steuerung und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines dreidimensionalen Schnitts durch ein mit einem verfahrenstechnischen Simulationsprogramm erzeugtes fünfdimensionales Kennfeld der Größen F_S , F_P und \dot{Q}_{Rer} bei vorbestimmten Temperaturen $T_{S,Ein}$ und $T_{P,Ein}$.

[0035] Wie Fig. 1 entnommen werden kann, weist eine Prozessanlage 1 einen Wärmetauscher 2 auf. Der Wärmetauscher 2 weist einen Behälter 2a auf, in dem eine Rohrleitungsanordnung 2b angeordnet ist. Der Behälter 2a weist einen ersten Eingang 2_{EP} sowie einen ersten Ausgang 2_{AP} auf. Über den ersten Eingang 2_{EP} fließt ein Produktmedium in den Behälter 2a, welches am ersten Ausgang 2_{AP} den Behälter 2a wieder verlässt.

[0036] Die Rohrleitungsanordnung 2b ist über einen zweiten Eingang 2_{ES} sowie über einen zweiten Ausgang 2_{AS} aus dem Behälter 2a des Wärmetauschers 2 herausgeführt. Über den zweiten Eingang 2_{ES} kann ein Servicemedium in die Rohrleitungsanordnung 2b geleitet werden, welches am zweiten Ausgang 2_{AS} die Rohrleitungsanordnung 2b wieder verlässt.

[0037] Mittels eines ersten Durchflussmessers 3 kann die Menge des dem Behälter 2a zugeführten Produktmediums erfasst werden. Mittels eines zweiten Durchflussmessers 4 kann die Menge des der Rohrleitungsanordnung 2b zugeführten Servicemediums erfasst werden. Mittels eines ersten Temperatursensors 5 kann die Temperatur des dem Behälter 2a zugeführten Produktmediums am ersten Eingang 2_{EP} des Behälters 2a erfasst werden. Mittels eines zweiten Temperatursensors 6 kann die Temperatur des der Rohrleitungsanordnung 2b zugeführten Servicemediums am zweiten Eingang 2_{ES} der Rohrleitungsanordnung 2b erfasst werden. Mittels eines dritten Temperatursensors 7 kann die Temperatur des Produktmediums am ersten Ausgang 2_{AP} des Behälters 2a erfasst werden. Mittels eines vierten Temperatursensors 8 kann die Temperatur des Servicemediums am zweiten Ausgang 2_{AS} der Rohrleitungsanordnung 2b erfasst werden.

[0038] Die Ausgangssignale 3a, 4a der Durchflussmesser 3, 4 sowie die Ausgangssignale 5a, 6a der Temperatursensoren 5, 6 werden einem ersten Kennfeldbaustein 9 sowie einem zweiten Kennfeldbaustein 10 zugeführt. In den

Kennfeldbausteinen 9, 10 ist jeweils ein hochdimensionales Kennfeld hinterlegt, welches mittels eines verfahrenstechnischen Simulationsprogramms, mit dem der Wärmetauscher 2 ausgelegt wurde beziehungsweise ausgelegt werden kann, berechnet wurde. Ein dreidimensionaler Schnitt durch ein fünfdimensionales im Kennfeldbaustein 9 hinterlegtes Kennfeld 16 ist in Fig. 2 dargestellt. Das Kennfeld 16 betrifft eine vorbestimmte Temperatur des Produktmediums am ersten Eingang 2_{EP} des Wärmetauschers 2 sowie eine vorbestimmte Temperatur des Servicemediums am zweiten Eingang 2_{ES} der Rohrleitungsanordnung 2b.

[0039] Im ersten Kennfeldbaustein 9 sind arbeitspunktabhängige Kennfelder 16 hinterlegt, welche den Wärmetauscher 2 im sauberen Zustand betreffen. Im zweiten Kennfeldbaustein 10 sind Kennfelder hinterlegt, welche den Wärmetauscher 2 im maximal verschmutzten Zustand betreffen. Die Kennfelder des ersten Kennfeldbausteins 9 geben in Abhängigkeit der Ausgangssignale 3a, 4a der Durchflussmesser 3, 4 sowie der Ausgangssignale 5a, 6a der Temperatursensoren 5, 6 einen Wärmestrom wieder, der als Referenz-Wärmestrom des nicht verschmutzten Wärmetauschers 2 verwendet werden kann. Die Kennfelder des zweiten Kennfeldbausteins 10 geben in Abhängigkeit der Ausgangssignale 3a, 4a der Durchflussmesser 3, 4 sowie der Ausgangssignale 5a, 6a der Temperatursensoren 5, 6 einen Wärmestrom wieder, der als Referenz-Wärmestrom des maximal verschmutzten Wärmetauschers 2 verwendet werden kann. Die wiedergegebenen Wärmeströme werden jeweils als Ausgangssignal 9a, 10a des betreffenden Kennfeldbausteins 9, 10 einem Überwachungsbaustein 11 zugeführt. In speziellen Fällen wie beispielsweise bei Phasenübergängen innerhalb des Wärmetauschers (Verdampfung, Kondensation) können auch andere als die oben angegebenen Größen als Eingangsgrößen in den Kennfeldern verwendet werden.

[0040] Die Kennfeldbausteine 9, 10 weisen einen Rechner auf, mittels dem Zwischenwerte, für welche kein Stützpunkt hinterlegt ist, durch Interpolation berechnet werden. Neben den den Kennfeldern direkt entnommenen Wärmeströmen werden dem Überwachungsbaustein 11 auch die durch Interpolation ermittelten Wärmeströme 9a, 10a zugeführt. Dem Überwachungsbaustein 11 werden des Weiteren die Ausgangssignale 3a, 4a der Durchflussmesser 3, 4 sowie die Ausgangssignale 5a, 6a der Temperatursensoren 5, 6, die den aktuellen Arbeitspunkt des Wärmetauschers 2 angeben, zugeführt. Darüber hinaus werden dem Überwachungsbaustein 11 noch die Ausgangssignale 7a, 8a des dritten Temperatursensors 7 und des vierten Temperatursensors 8 zugeführt. In speziellen Fällen wie beispielsweise bei Phasenübergängen innerhalb des Wärmetauschers (Verdampfung, Kondensation) können auch andere als die oben angegebenen Größen dem Überwachungsbaustein zugeführt werden.

[0041] Im Überwachungsbaustein 11 kann somit ein aktueller Wärmestrom berechnet werden. Der aktuelle Wärmestrom wird dann mit den den Kennfeldbausteinen 9, 10 entnommenen arbeitspunktabhängigen Referenz-Wärmeströmen verknüpft. Als Ausgangssignal 11a kann dann ein Wert zwischen 0 und 100 % angegeben werden, der den Verschmutzungsgrad des Wärmetauschers 2 angibt.

[0042] Um zu vermeiden, dass im Überwachungsbaustein 11 instationäre Zustände berücksichtigt werden, werden von entsprechenden Prozessparametern abhängige Signale 12_P , 13_P , 14_P der Prozessanlage 1 an Kontrollbausteine 12, 13, 14 gegeben, die die Signale 12_P , 13_P , 14_P dahingehend auswerten, ob sich die Prozessanlage 1 in einem stationären Zustand befindet. Befindet sich die Prozessanlage 1 in einem stationären Zustand, liegt an den Ausgängen der Kontrollbausteine 12, 13, 14 jeweils ein Signal 12a, 13a, 14a an, welche in einem Und-Glied 15 logisch miteinander verknüpft werden. Das Ausgangssignal 15a des Und-Glieds 15 liegt als Freigabesignal am Überwachungsbaustein 11 an.

40 Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Wirksamkeit eines Wärmetauschers, bei dem Wärme von einem ersten Medium in ein zweites Medium strömt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein aktueller Wärmestrom erfasst wird und mit wenigstens einem einem jeweils vorbestimmten Verschmutzungsgrad des Wärmetauschers entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung des wenigstens einen Referenz-Wärmestromes mittels eines Simulationsprogramms, mittels welchem der Wärmetauscher dimensionierbar ist, vorgenommen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aktuelle Wärmestrom mit einem einem Verschmutzungsgrad Null entsprechenden Referenz-Wärmestrom und mit einem einem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Qualitätswert bestimmt wird, der dem Quotienten aus der Differenz zwischen dem aktuellen Wärmestrom und dem dem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Referenz-Wärmestrom zu der Differenz zwischen dem dem Verschmutzungsgrad Null entsprechenden Referenz-Wärmestrom und dem dem maximal zulässigen Verschmutzungsgrad entsprechenden Refe-

renz-Wärmestrom entspricht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem wenigstens einen Referenz-Wärmestrom derselbe Arbeitspunkt zugrunde liegt wie dem aktuellen Wärmestrom.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vielzahl von Referenz-Wärmeströmen bei unterschiedlichen Arbeitspunkten ermittelt wird und der dem Arbeitspunkt des aktuellen Wärmestromes entsprechende Arbeitspunkt des Referenz-Wärmestromes mittels Interpolation ermittelt wird.
- 10 7. Einrichtung zur Steuerung einer Anlage (1) mit wenigstens einem Wärmetauscher (2), **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Speicher (9, 10) vorhanden ist, in dem wenigstens ein Kennfeld (16) für einen Referenz-Wärmestrom des Wärmetauschers (2) abgespeichert ist.
- 15 8. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Speicher (9, 10) mehr als zehn unterschiedlichen Arbeitspunkten entsprechende und/oder wenigstens zwei unterschiedlichen Verschmutzungsgraden des Wärmespeichers entsprechende Kennfelder (16) für Referenz-Wärmeströme gespeichert sind.
9. Computerprogrammprodukt, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Programmcode-Sequenzen aufweist, bei deren Ausführung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 durchgeführt wird.

20

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

- 25 1. Verfahren zur Überwachung der Wirksamkeit eines Wärmetauschers, bei dem Wärme von einem sich in einer Rohrleitungsanordnung (2b) befindlichen ersten Medium in ein die Rohrleitungsanordnung (2b) umströmendes zweites Medium strömt beziehungsweise bei dem Wärme von einem eine Rohrleitungsanordnung (2b) umströmenden ersten Medium in ein sich in der Rohrleitungsanordnung (2b) befindliches zweites Medium strömt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein aktueller Wärmestrom erfasst wird und mit wenigstens einem einem jeweils vorbestimmten Verschmutzungsgrad des Wärmetauschers entsprechenden Referenz-Wärmestrom verglichen wird.

30

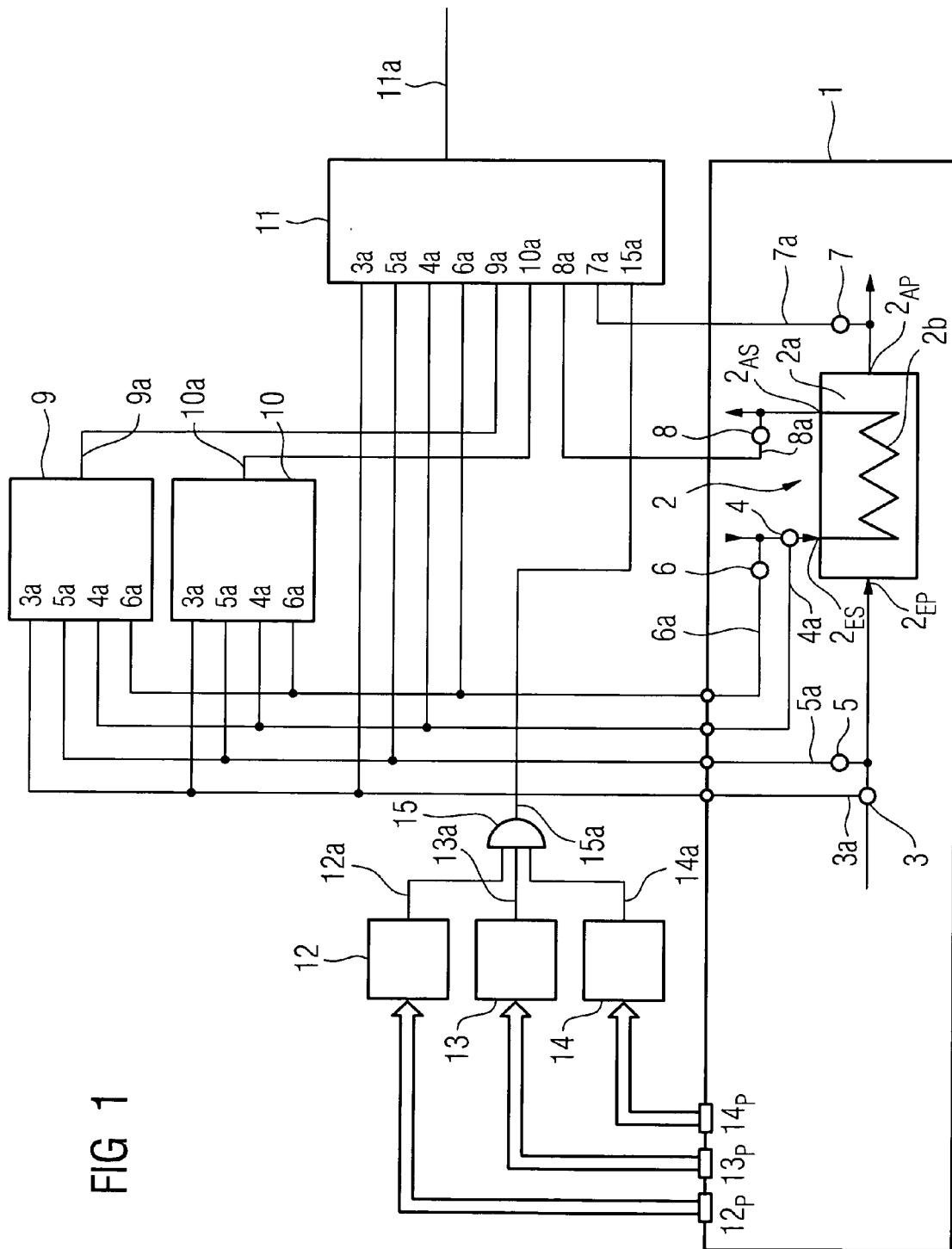
35

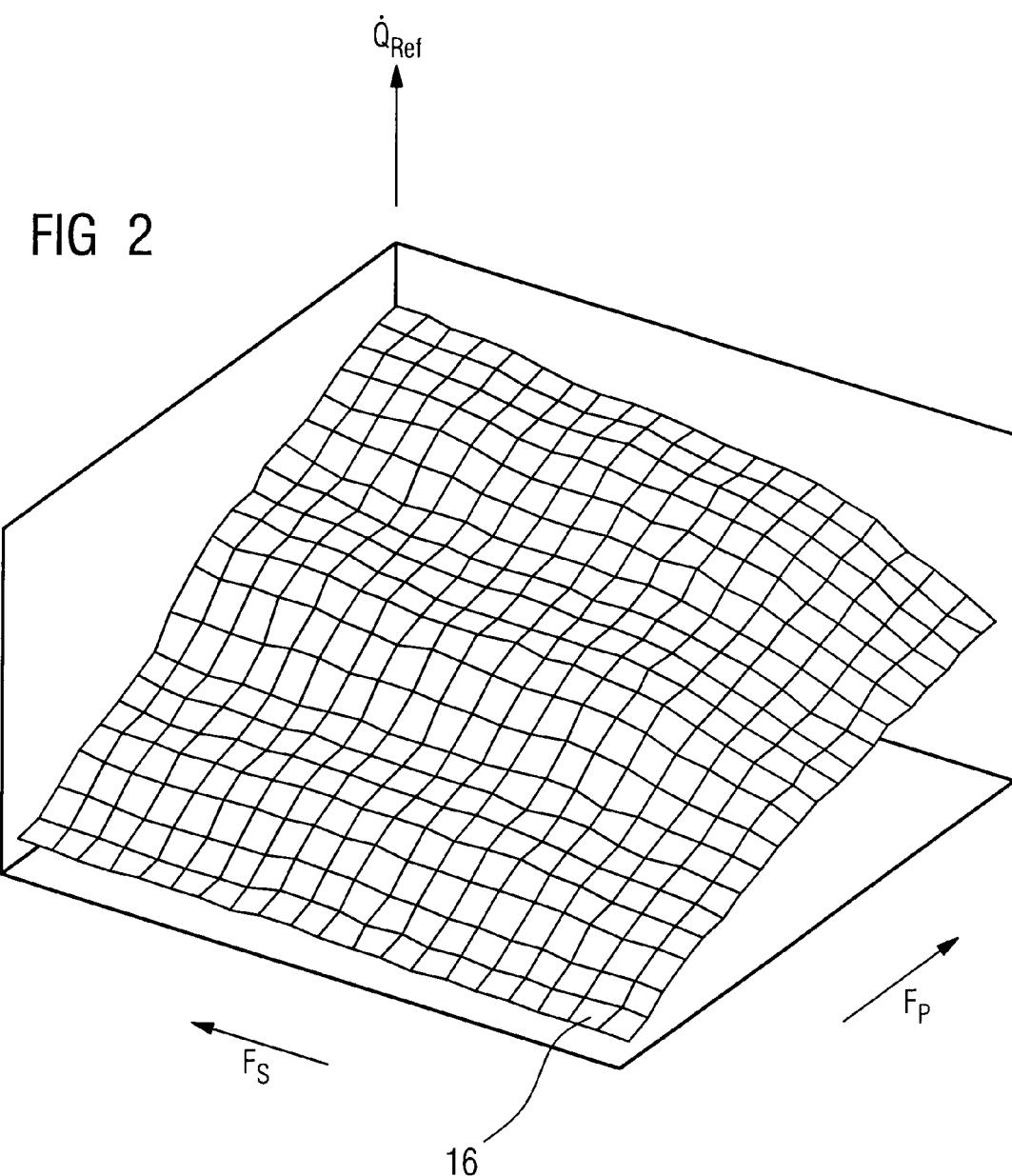
40

45

50

55







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 08 00 9815

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	
X	ZOLZER K ET AL: "EINSATZ DES KESSEL-DIAGNODE-SYSTEMS KEDI IM KRAFTWERK STAUDINGER 5. REALISIERUNG UND BETRIEBSERFAHRUNG" VGB KRAFTWERKSTECHNIK, ESSEN, DE, Bd. 75, Nr. 9, 1. September 1995 (1995-09-01), Seiten 755-762, XP000525900 ISSN: 0372-5715 * Seite 755 - Seite 758 * ----- X	1-9	INV. F28G15/00 F22B37/56
X	DE 195 02 096 A1 (BERGEMANN GMBH [DE]) 25. Juli 1996 (1996-07-25) * Spalte 2, Zeile 56 - Spalte 4, Zeile 7 * * Spalte 5, Zeile 49 - Spalte 11, Zeile 61 * ----- X	1-9	
X	US 5 181 482 A (LABBE DONALD E [US] ET AL) 26. Januar 1993 (1993-01-26) * das ganze Dokument * ----- X	1-9	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	US 6 736 089 B1 (LEFEBVRE W CURT [US] ET AL) 18. Mai 2004 (2004-05-18) * Zusammenfassung * * Spalte 5, Zeile 20 - Spalte 6, Zeile 67 * * Spalte 10, Zeile 55 - Spalte 12, Zeile 35 * -----	1	F28G F22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 17. November 2008	Prüfer Leclaire, Thomas
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 08 00 9815

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.

17-11-2008

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19502096	A1	25-07-1996	AU DE WO	4538596 A 19680029 D2 9623169 A1		14-08-1996 27-11-1997 01-08-1996
US 5181482	A	26-01-1993		KEINE		
US 6736089	B1	18-05-2004	US WO	2004244729 A1 2004109185 A2		09-12-2004 16-12-2004

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

- EP 2007004745 W [0028]