



(11) **EP 1 524 470 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.01.2011 Patentblatt 2011/04

(51) Int Cl.:
F23N 5/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03023303.5**

(22) Anmeldetag: **15.10.2003**

(54) **VERFAHREN ZUR REGELUNG EINER THERMODYNAMISCHEN ANLAGE**

METHOD FOR CONTROLLING A THERMODYNAMIC SYSTEM

PROCÉDÉ POUR RÉGULER UN SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.04.2005 Patentblatt 2005/16

(73) Patentinhaber: **Powitec Intelligent Technologies GmbH**
45219 Essen (DE)

(72) Erfinder:
• **Richter, Peter**
44869 Bochum (DE)

• **Wintrich, Franz**
45309 Essen (DE)

(74) Vertreter: **Patentanwälte Hosenthien-Held und Dr. Held**
Klopstockstrasse 63-65
70193 Stuttgart (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-02/070953 DE-A- 3 024 401
DE-A- 10 143 548 US-A- 4 913 647

EP 1 524 470 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer thermodynamischen Anlage, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruches 1.

[0002] Bei einem aus der DE 30 24 401 A1 bekannten Verfahren dieser Art beschickt jede vorgesehene Fördereinrichtung die ihr zugeordneten Brenner mit einer unbekanntem Verteilung der Massenströme und der Kornspektren der als Brennstoff dienenden Kohle, wobei die unbekanntem Werte eine exakte Regelung sehr erschweren. Bei jedem vorhandenen Brenner schließt eine Messvorrichtung aus dem Vorhandensein eines Bildes der Flamme auf das Vorhandensein der Flamme.

[0003] Die US 4,913,647 A offenbart eine thermodynamische Anlage, bei der pro Flamme auch ein Ventil für den Brennstoff vorgesehen ist, so dass die Verteilung der Massenströme prinzipiell bekannt ist oder einfach ermittelt werden kann. Die Auswertung von "regions of interest" innerhalb eines Bildes einer Flamme wird in der WO 02/070953 A1 beschrieben.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art hinsichtlich der Datenmenge zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0005] Indem vom Bild der Flamme wenigstens ein interessierendes Gebiet in der Flammenwurzel im Nahfeld des Brenners ausgewählt und dessen Intensität als zeitabhängiges Signal erfasst und zur Regelung verwendet wird, kann mit geringem Aufwand eine die Flamme in guter Näherung kennzeichnende kleine Datenmenge erfasst werden, die für die Regelung wichtige Informationen liefert. Es können auch mehrere interessierende Gebiete beobachtet werden. Aufgrund des beschränkten Umfangs der Datenmenge ist eine schnelle Verarbeitung sichergestellt. Die Anwendung kann bei verschiedenen thermodynamischen Anlagen, wie Kraftwerken, erfolgen, unabhängig vom Brennstoff und seinem Aggregatzustand. Der Brennstoff kann daher beispielsweise Kohle, Öl oder Gas sein.

[0006] Zur Herausarbeitung der Merkmale der Flamme wird aus dem erfassten zeitabhängigen Signal ein Spektrum ermittelt, beispielsweise mit einer Fast-Fourier-Transformation oder einem anderen mathematischen Verfahren, aus welchem dann fünf charakteristische Werte ermittelt werden. Aus den charakteristischen Werten wird durch eine multiple Regression oder ein anderes mathematisches Verfahren das Kornspektrum und/oder die Verteilung der Massen-, ströme pro Brenner jeder Fördereinrichtung ermittelt werden. Es handelt sich vorzugsweise um die bestmögliche Annäherung an eine Kombination bekannter Brennstoffpartikelspektren und/oder Verteilungen der Massenströme pro Brenner jeder Fördereinrichtung (beispielsweise Mühle oder Pumpe), welche zur Initialisierung vorab abzufahren sind, also das aktuelle Brennstoffpartikelspektrum und/oder

die aktuelle Verteilung der Massenströme. Das Brennstoffpartikelspektrum ist im Falle von Kohle ein Kornspektrum, im Fall von Öl ein Tröpfchenspektrum. Im Falle von Gas wird nur die Verteilung der Massenströme ermittelt.

[0007] Eine geeignete Messvorrichtung, welche bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet wird und welche ein Bild der Flamme erhält, weist wenigstens eine Diode auf, welche jeweils genau ein interessierendes Gebiet aus dem Bild der Flamme erfasst, also sich auf einen Teil des Bildes beschränkt. Dies verringert die zu erfassende und zu verarbeitende Datenmenge. Bei mehreren interessierenden Gebieten sind entsprechend viele Dioden vorgesehen. Der Diode ist vorzugsweise eine Auswerteeinrichtung zugeordnet, insbesondere eine eigene Auswerteeinrichtung, welche dann vorzugsweise das Spektrum und den oder die charakteristischen Werte ermittelt. Die weiterzuleitende Datenmenge ist dann minimal. Als Auswerteeinrichtung kann aber auch der Hauptcomputer fungieren, wobei dann allerdings ein - im Vergleich zu den charakteristischen Werten größeres - Feld mit Daten von der Meßvorrichtung an den Hauptcomputer zu übermitteln ist.

[0008] Zum Justieren der Diode, d.h. zum Ausrichten derselben auf das interessierende Gebiet, ist vorzugsweise eine Videokamera vorgesehen, die vorzugsweise wahlweise an die Meßvorrichtung anschließbar ist. Nach dem Justieren kann die Videokamera von der Meßvorrichtung entfernt werden, was die Gesamtkosten bei einer größeren Anlage trotz mehrerer Meßvorrichtungen dämpft. Zur Vereinfachung des Justierens benutzen die Diode und die Videokamera vorzugsweise den gleichen optischen Zugang, beispielsweise ein gemeinsames Boroskop, an welches ein Strahlteiler angeschlossen ist.

[0009] Eine entsprechende thermodynamische Anlage, welche mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geregelt wird, weist außer einem Ofen und wenigstens einer Fördereinrichtung, insbesondere einer Mühle oder Pumpe, der wenigstens zwei Brenner zugeordnet sind, wenigstens eine Meßvorrichtung auf, vorzugsweise jedoch für jeden Brenner eine Meßvorrichtung. Der Brennstoff für ein Kraftwerk ist vorzugsweise Kohle, jedoch können auch andere, insbesondere feste Brennstoffe verwendet werden, auch als Beimischung.

[0010] Im folgenden ist die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Kraftwerk,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Meßvorrichtung, und

Fig. 3 ein Spektrum der Intensität in einem ausgewählten Gebiet einer Flamme.

[0011] In einem Kraftwerk 1, welches ein Beispiel einer

thermodynamischen Anlage ist, sind mehrere Bunker 3 mit grobkörnigem Kohlekonzentrat, Mittelkorn und Feinkorn vorgesehen, aus welchen eine Mühle 5 als Förder- einrichtung beschickt wird. Statt Kohle könnte im Prinzip auch ein anderer Brennstoff verwendet oder beigemischt werden. Die von der Mühle 5 ausgegebene Kohle K wird zusammen mit der Primärluft L_p einem Brenner 7 in einem Ofen 9 zugeführt, wobei jede Mühle 5 aus Kosten- gründen mehrere Brenner 7, in der Zeichnung beispiels- weise zwei Stück, beschickt. An jedem Brenner 7 bildet sich dann im Ofen 9 eine Flamme 11 aus. Unterhalb der Brenner 7 wird die Sekundärluft L_s in den Ofen 9 gebla- sen.

[0012] Jede Flamme 11 wird optische von einer Meßvorrichtung 15 erfaßt, welche ein in den Ofen 9 ra- gendes Boroskop 17 aufweist, das ein Bild der Flamme 11 in das Innere der Meßvorrichtung 15 abbildet. Mittels eines Strahlteilers 19 wird das Bild der Flamme 11 einer- seits auf eine wahlweise an die Meßvorrichtung 15 an- geschlossene Videokamera 21 und andererseits auf eine Diode 23 gelenkt, welche mit einer Abtastfrequenz von beispielsweise bis zu 2 kHz - und gegebenenfalls ange- paßter spektraler Empfindlichkeit - ein hochzeit- oder op- tional hochspektralaufgelöstes Signal aufnimmt. Dabei ist das Boroskop 17 mit Hilfe der Videokamera 21 so justiert, daß die Diode 23 auf ein interessierendes Gebiet (ROI = Region of interest) in der Flammenwurzel im Nah- feld des Brenners 7 ausgerichtet ist, welche in der Zeich- nung schematisch durch ein Kreuz symbolisiert ist. Nach dem Justieren kann die Videokamera 21 entfernt und für die Justierung einer anderen Meßvorrichtung 15 verwen- det werden.

[0013] Die Diode 23 gibt das empfangene Signal vor- zugsweise an eine eigene Auswerteeinrichtung 25, wel- che eine nachfolgend beschriebene Auswertung vornimmt und das Ergebnis an einen Computer 31 weitergibt. Die- ser Computer 31 dient der Regelung des Kraftwerks 1, d.h. aufgrund der von den Meßvorrichtungen 15 gelie- ferten Ergebnisse werden zur Erreichung eines Optimie- rungszieles, beispielsweise minimalem Ausstoß von Stickoxiden, verschiedene Stellgrößen betätigt, bei- spielsweise die der Mühle 5 zugeführte Kohlemischung und -qualität, welche einen Einfluß auf das Kornspektrum jedes Brenners 7 haben, die Kohlemenge und die Menge der Primärluft und der Sekundärluft. Da verschiedene Brenner 7 jeder Mühle 5 zugeordnet sind, sind die wirk- samen Stellgrößen nicht alle bekannt.

[0014] Um daher das Kornspektrum an jedem Brenner 7 sowie die Verteilung der Kohlemassenströme auf die verschiedenen Brenner 7 einer Mühle 5 zu ermitteln, wird in der Auswerteeinrichtung 25 jeder Diode 23 oder op- tional im Computer 31 das aufgenommene zeitabhängi- ge Signal einer Fast-Fourier-Transformation unterzogen und ein Spektrum bis etwa 1000 Hz erhalten (Sampling- Theorem). Das Spektrum weist in einem Bereich von et- wa 100 bis 1000 Hz einen exponentiellen Abfall der In- tensität I auf und kann in guter Näherung durch fünf cha- rakteristische Werte beschrieben werden.

[0015] Diese fünf charakteristischen Werte sind der frequenzunabhängige, konstante Intensitätsanteil M1, welcher der Intensität I bei der Frequenz $f=0$ entspricht, der mittlere Frequenzwert M2 im Bereich des Intensitäts- abfalls, d.h. der Abstand des Bereichs des Intensitäts- abfalls von der Frequenz $f=0$, die Lage und Breite M3 (alternativ Minimal- und Maximalwert) des Bereichs des Intensitätsabfalls, der Regressionskoeffizient M4, d.h. die Steigung im Bereich des Intensitätsabfalls und die Streuung M5, d.h. die Bandbreite der Intensität im Be- reich des Intensitätsabfalls. Ein anfängliches Abfahren bekannter Kornspektren und bekannter Kohlemassen- stromverteilungen dient der Initialisierung und Bestim- mung der absoluten Werte. Aus einer multiplen Regres- sion oder einem anderen Annäherungsverfahren mit den genannten fünf Werten von allen Brennern 7 über die Zeit hinweg kann eine bestmögliche Annäherung an eine Kombination der bekannten Kornspektren und bekann- ten Kohlemassenströme erreicht werden, aus der die für die Regelung erwünschten Größen ermittelt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer thermodynamischen Anlage (1), gemäß dem wenigstens eine Förderein- richtung (5) jeweils wenigstens zwei ihr zugeordnete Brenner (7) mit Brennstoff beschickt und bei jedem vorhandenen Brenner (7) das Bild einer sich ausbil- denden Flamme (11) erfaßt und verarbeitet wird, wobei vom Bild der Flamme (11) wenigstens ein in- teressierendes Gebiet in der Flammenwurzel im Nahfeld des Brenners (7) ausgewählt und dessen Intensität (I) als zeitabhängiges Signal erfaßt und zur Regelung verwendet wird, **dadurch gekenn- zeichnet, dass** aus dem erfassten zeitabhängigen Signal ein Spektrum und hieraus charakteristische Werte (M1, M2, M3, M4, M5) ermittelt werden, aus denen durch eine Regression oder ein anderes ma- thematisches Verfahren das Kornspektrum und/ oder die Verteilung der Massenströme pro Brenner (7) jeder Fördereinrichtung (5) ermittelt werden, wo- bei im Spektrum die Intensität (I) bei der Frequenz $f=0$ der erste charakteristische Wert (M1), bezüglich des Bereichs eines Intensitätsabfalls des Spektrums ein mittlerer Frequenzwert der zweite charakte- ristische Wert (M2), die Lage und Breite dieses Bereichs der dritte charakteristische Werte (M3), der Regres- sionskoeffizient der vierte charakteristische Werte (M4) und die Streuung der fünfte charakteristische Werte (M5) sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekenn- zeichnet, dass** ein anfängliches Abfahren bekann- ter Kornspektren und bekannter Verteilung der Mas- senströme der Initialisierung und Bestimmung der absoluten Werte dient.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den charakteristischen Werten (M1, M2, M3, M4, M5) von allen Brennern (7) über die Zeit hinweg eine Annäherung an eine Kombination der bekannten Kornspektren und bekannten Verteilung der Massenströme erreicht wird.

Claims

1. Method for controlling a thermodynamic system (1), according to which at least one supply unit (5) supplies with fuel at least two burners (7) assigned to it, and according to which for each existing burner (7) the image of a flame (11) being formed is detected and processed, wherein at least one region of interest of the image of the flame (11) at the root of the flame in the shortrange field of the burner (7) is selected and its intensity (I) is detected as a time-dependent signal and used for controlling, **characterized in that** a spectrum is determined from the detected time-dependent signal, characteristic values (M1, M2, M3, M4, M5) being determined from said spectrum, and that the grain spectrum and/or the distribution of the mass flows per burner (7) in each supply system (5) is calculated by regression from said characteristic value(s) or by another mathematical method, wherein, within the spectrum, the first characteristic value (M1) corresponds to the intensity I at the frequency $f=0$; the second characteristic value (M2) corresponds to a medium frequency value in the range of the intensity drop of the spectrum, the third characteristic value (M3) corresponds to the position and width of said range, the fourth characteristic value (M4) corresponds to the regression coefficient, and the fifth characteristic value (M5) corresponds to scattering.
2. A method according to Claim 1, **characterized in that** an initial polling of known grain spectra and known mass flow distribution serves to initialize and determine the absolute values.
3. A method according to Claim 2, **characterized in that**, using the characteristic values (M1, M3, M3, M4, M5) over time of all burners (7), an approximation of a combination of known grain spectra and known mass flow distribution is obtained.

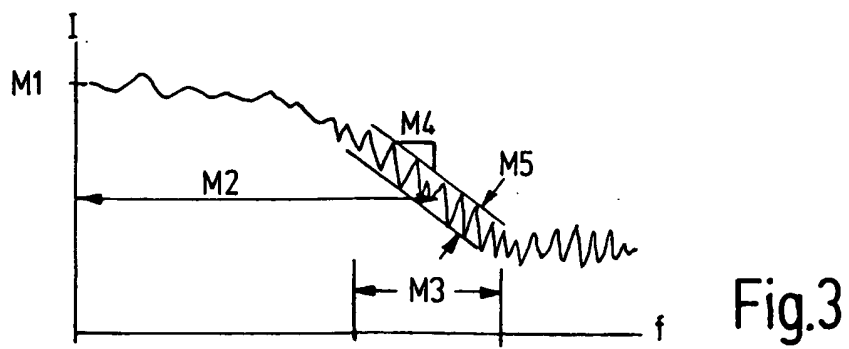
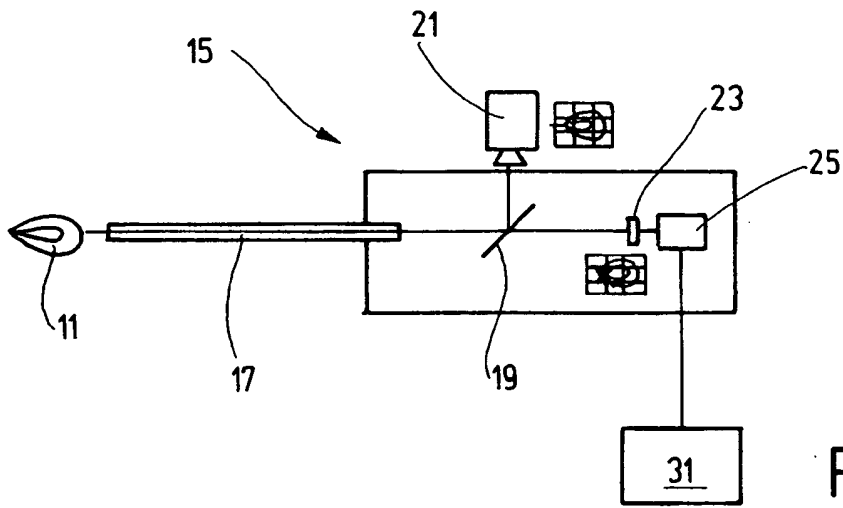
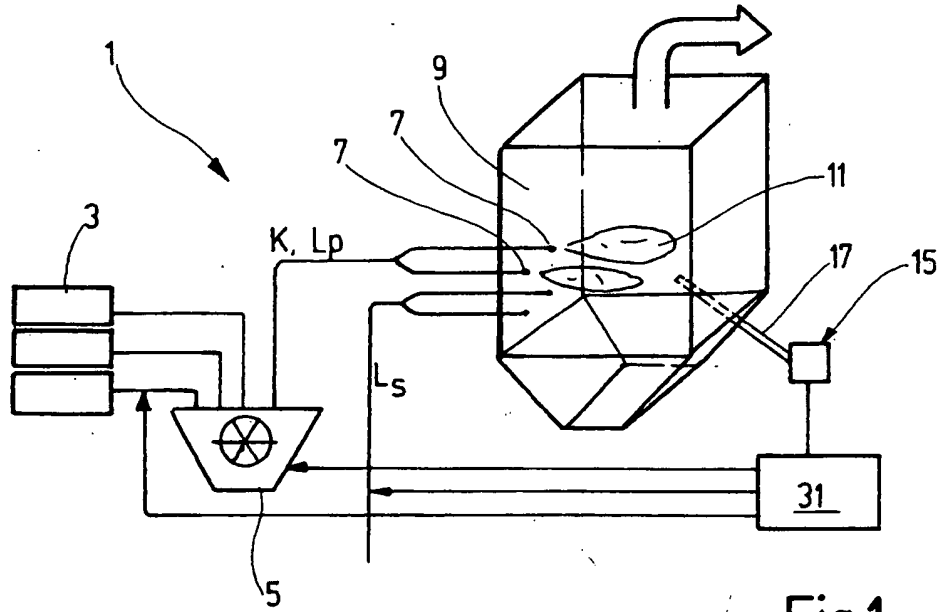
Revendications

1. Procédé pour régler une installation thermodynamique (1), selon lequel au moins un dispositif de transport (5) alimente en combustible à chaque fois au moins deux brûleurs (7) qui lui sont attribués et l'image d'une flamme (11) se formant est saisie et traitée sur chaque brûleur (7) présent, au moins une zone

intéressante à la base de la flamme dans la zone proche du brûleur (7) étant choisie par l'image de la flamme (11) et son intensité (I) étant enregistrée comme signal dépendant du temps et étant utilisée pour le réglage, **caractérisé par le fait qu'**un spectre et à partir de là des valeurs caractéristiques (M1, M2, M3, M4, M5) sont déterminés à partir du signal enregistré dépendant du temps, valeurs à partir desquelles le spectre granulométrique et/ou la répartition des flux massiques sont déterminés, par une régression ou par un autre procédé mathématique, par brûleur (7) de chaque dispositif de transport (5), l'intensité (I) à la fréquence $f = 0$ étant la première valeur caractéristique (M1) dans le spectre et, en ce qui concerne la zone d'une chute d'intensité du spectre, une valeur de fréquence moyenne étant la seconde valeur caractéristique (M2), la position et la largeur de cette zone, la troisième valeur caractéristique (M3), le coefficient de régression, la quatrième valeur caractéristique (M4) et la dispersion la cinquième valeur caractéristique (M5).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé par le fait qu'**un examen initial de spectres granulométriques connus et d'une répartition connue des flux massiques servent à l'initialisation et à la détermination des valeurs absolues.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé par le fait qu'**une approche d'une combinaison des spectres granulométriques connus et de la répartition connue des flux massiques est obtenue à partir des valeurs caractéristiques (M1, M2, M3, M4, M5) de tous les brûleurs (7) par rapport au temps.



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 3024401 A1 [0002]
- US 4913647 A [0003]
- WO 02070953 A1 [0003]