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

(11) **EP 2 920 517 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.03.2020 Patentblatt 2020/11

(21) Anmeldenummer: **13826713.3**

(22) Anmeldetag: **09.11.2013**

(51) Int Cl.:
F23N 5/08 *(2006.01)* ***F23N 5/10*** *(2006.01)*
G01J 5/00 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2013/000673

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/075654 (22.05.2014 Gazette 2014/21)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR MESSUNG EINES AUSBRANDGRADES VON PARTIKELN IN EINER FEUERUNGSANLAGE**

APPARATUS AND METHOD FOR MEASURING THE COMBUSTIONGRADE OF A PARTICLE IN A FURNACE

APPAREIL ET PROCEDE DE MESURE POUR LA GRADE DE COMBUSTION D'UN PARTICULE DANS UN FOUR

(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: **14.11.2012 DE 102012022220**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.09.2015 Patentblatt 2015/39

(73) Patentinhaber:
- **Haug, Michael**
  52066 Aachen (DE)
- **Schreiber, Michael**
  50226 Frechen (DE)

(72) Erfinder: **SCHREIBER, Michael**
50226 Frechen (DE)

(74) Vertreter: **Heinemeyer, Karsten**
Charlottenstr. 19a
23560 Lübeck (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 696 708
EP-A2- 1 615 469
WO-A1-2008/110341
GB-A- 1 208 786
JP-A- 2012 013 580
US-A- 2 840 145
US-A- 2 840 146

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 2 920 517 B1

Beschreibung

Technisches Gebiet:

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung eines Ausbrandgrades von Brennstofftröpfchen oder -partikeln in einer Feuerungsanlage, in der wenigstens teilweise flüssige oder feste Brennstoffe verbrannt werden. Hierbei weist ist zumindest eine Messeinheit vorgesehen, durch die an einer Stelle innerhalb des Brennraumes eine Temperatur erfassbar ist. Die erfasste Temperatur wird schließlich einer Auswerteinheit zugeführt, in der unter Berücksichtigung der im Brennraum erfassten Temperatur wenigstens eine Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum generierbar ist.

[0002] Die Regelung des Verbrennungsprozesses in modernen Industriefeuerungsanlagen ist von großer Bedeutung, um einen wirtschaftlichen und möglichst umweltverträglichen Betrieb zu gewährleisten. Ein wesentlicher Parameter bei der Verbrennung der Brennstoffe, insbesondere von Flüssig- und Festbrennstoffen, stellt hierbei die Temperatur im Brennraum dar, wobei es wichtig ist, dass der eingesetzte Brennstoff zumindest nahezu vollständig verbrannt wird.

[0003] Bei bekannten Regelungsverfahren, bei denen die Verbrennungstemperatur direkt oder indirekt zur Regelung des Verbrennungsprozesses herangezogen wird, wird diese Temperatur im Feuerraum teilweise mit Thermoelementen oder berührungslos mit Hilfe geeigneter Pyrometer erfasst. So bietet beispielsweise die Verwendung geeigneter Pyrometer die Möglichkeit, bei einer Feststoffverbrennung die Temperaturverteilung über dem gesamten Brennbett zu erfassen.

In diesem Zusammenhang ist aus der EP 0 696 708 A1 ein Verfahren zur Regelung der Feuerung von industriellen Verbrennungsanlagen bekannt, bei dem eine von der Verbrennungstemperatur direkt abhängige Regelgröße vergleichsweise einfach und zuverlässig generiert und für die Regelung der Feuerungsanlage zur Verfügung gestellt werden soll. Die beschriebene technische Lösung zeichnet sich hierbei dadurch aus, dass zur Erfassung der temperaturabhängigen Regelgröße die Temperatur der Abgase an einer von der Brennbettstrahlung und/oder der Flammenstrahlung abgeschirmten Stelle mittels einer Infrarotmesseinrichtung gemessen wird. Durch diese Anordnung der Messeinrichtung soll sichergestellt werden, dass von der vom glühenden Brennbett ausgehenden Festkörperstrahlung oder der Flammenstrahlung verursachte Störeinflüsse bei der Ermittlung der Regelgröße nicht berücksichtigt werden.

[0004] Darüber hinaus ist es bekannt, dass die Messung des Ausbrands von Öltröpfchen oder Kohlepartikeln in industriellen Feuerungsanlagen, beispielsweise in Dampferzeugern, entweder über eine Probenahme verbunden mit einer anschließenden Laboruntersuchung oder ebenfalls berührungslos mithilfe vergleichsweise aufwendiger spektroskopischer Verfahren erfolgt. Eine kontinuierliche Messung des Ausbrandverhaltens in Feuerungsanlagen ist dagegen nicht bekannt.

[0005] Problematisch an den bekannten technischen Lösungen zur Erfassung von Temperaturen innerhalb der Brennräume von Industriefeuerungsanlagen ist vielfach, dass ein vergleichsweise großer Aufwand betrieben werden muss, um Verbrennungstemperaturen oder sogar Temperaturverteilungen innerhalb eines Brennraums zu ermitteln. Ein weiteres Problem, insbesondere bei der Verbrennung von Flüssig- oder Festbrennstoffen, wie Heizöl, Schweröl, Biomasse, Kohle oder Abfällen, stellen die Temperaturunterschiede zwischen den brennenden Tröpfchen bzw. Partikeln, dem diese Tröpfchen oder Partikel umgebenden Gas und den Feuerraumwänden dar. Aus diesem Grund ist es regelmäßig nicht möglich, zuverlässige Informationen über den Ausbrand flüssiger oder fester Brennstoffe innerhalb des Brennraumes zu erhalten.

[0006] Dokumente JP2012013580, GB1208786, WO2008/110341, EP1615469, US2840145, US2840146 und EP0696708 offenbaren eine Vorrichtung beziehungsweise ein Verfahren zur Messung eines Ausbrandgrades eines Brennstoffes in einer Feuerungsanlage.

[0007] Ausgehend vom bekannten Stand der Technik und den zuvor geschilderten Problemen liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Messvorrichtung sowie ein entsprechendes Verfahren zur Erfassung von Temperaturen innerhalb des Brennraumes einer Feuerungsanlage zur Verbrennung von flüssigen oder festen Brennstoffen derart weiterzubilden, dass vorzugsweise in Echtzeit zuverlässige Informationen über das Ausbrandverhalten, insbesondere den aktuellen Ausbrandgrad, der Brennstofftröpfchen oder -partikel gewonnen werden können. Hierbei soll ein sowohl technisch als auch wirtschaftlich sinnvoll und einfach umzusetzendes System bereitgestellt werden, mit dem qualitativ hochwertige Daten über das Ausmaß und den Ablauf der Verbrennung der Brennstoffe innerhalb des Brennraumes einer Industriefeuerungsanlage erhalten werden. Ferner sollen die gewonnenen Daten mit verhältnismäßig geringem Aufwand für die Regelung der Verbrennung innerhalb der Feuerungsanlage einsetzbar sein. Für die anzugebende technische Lösung sollen vorzugsweise herkömmliche Messtechniken verwendbar sein, so dass eine einfache Integration der Messtechnik auch in bestehende Anlagen möglich ist.

[0008] Die vorstehend erläuterte Aufgabe wird mit einer Vorrichtung gemäß Anspruch 1 sowie einem Verfahren nach Anspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und werden in der folgenden Beschreibung unter teilweiser Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert.

[0009] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung eines Ausbrandgrades von Brennstofftröpfchen oder -partikeln in einer Feuerungsanlage, in der wenigstens teilweise flüssige oder feste Brennstoffe verbrannt werden. Die Vorrichtung weist zumindest eine Messein-

heit auf, durch die an einer Stelle innerhalb des Brennraums eine Temperatur erfassbar ist, die einer Auswerteinheit zugeführt wird, in der wiederum unter Berücksichtigung der im Brennraum erfassten Temperatur wenigstens eine Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum generierbar ist. Erfindungsgemäß ist eine derartige Vorrichtung derart weitergebildet worden, dass eine erste Messeinheit zur Erfassung der Temperatur eines im Brennraum befindlichen Brennstofftröpfchen oder -partikels sowie eine zweite Messeinheit zur Erfassung der Temperatur in einer Umgebung des Tröpfchen oder Partikels vorgesehen sind und dass die Auswerteinheit, an die die erfassten Temperaturen übertragen werden, derart ausgeführt ist, dass auf der Grundlage einer Differenz zwischen der Tröpfchen- oder Partikeltemperatur und der Temperatur in der Umgebung des Tröpfchen oder Partikels die Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum generiert wird. Die erfindungsgemäße technische Lösung zeichnet sich somit insbesondere dadurch aus, dass im Wesentlichen zwei Messeinheiten vorgesehen sind, durch die vorzugsweise berührungslos einerseits die Tröpfchen- oder Partikeltemperatur im Brennraum und andererseits eine Temperatur in unmittelbarer Umgebung des korrespondierenden Tröpfchens oder Partikels gemessen wird. Die Erfindung lässt sich somit bei Brennstoffen einsetzen, die im Brennraum wenigstens teilweise eine Festkörperstrahlung emittieren. In diesem Zusammenhang ist es grundsätzlich denkbar, dass die beiden Messeinheiten in einer gemeinsamen Baueinheit angeordnet sind. Bei der Temperatur, die in der Umgebung des jeweiligen Tröpfchens oder Partikels gemessen wird, kann es sich sowohl um die Temperatur des Gases, das die Tröpfchen bzw. Partikel umgibt, als auch um die Temperatur einer den Brennraum begrenzenden Feuerraumwand handeln. Die erfindungsgemäße technische Lösung berücksichtigt somit, dass bei der Verwendung von Flüssig- oder Festbrennstoffen, beispielsweise bei der Verbrennung von Heizöl, Schweröl, Kohle, Biomasse oder Abfallstoffen, nicht von einem Gleichgewicht der Temperaturen der brennenden Tröpfchen oder Partikel, des umgebenden Gases und der Feuerrumwände ausgegangen werden kann. Durch die Ermittlung der jeweiligen Temperaturen bzw. der Temperaturunterschiede unter Zuhilfenahme einer entsprechend geeigneten Auswerteeinheit können wichtige Informationen über den Grad des Ausbrands des verwendeten Flüssig- oder Festbrennstoffes, also über das Ausbrandverhalten innerhalb des Brennraums, gewonnen werden. Der ermittelte Ausbrandgrad wird schließlich einer Steuerung des Feuerungsprozesses zur Verfügung gestellt, so dass insgesamt eine besonders effektive Regelung der Verbrennung realisiert wird.

[0010] Gemäß einer besonderen Verwendung der Erfindung wird diese bei der Verbrennung von festen Brennstoffen, insbesondere von Kohle, Biomasse oder Abfallstoffen, eingesetzt. Bei der Verbrennung derartiger Festbrennstoffe wird der Brennstoff üblicherweise mithilfe von Förderluft, der so genannten Primärluft, in den Brennraum eingetragen. Dort wird der regelmäßig staub- bzw. partikelförmig vorliegende Festbrennstoff von den heißen Umgebungsgasen zunächst aufgeheizt und hierdurch letztendlich getrocknet und pyrolysiert. Bei der Verbrennung der Feststoffpartikel im Brennraum, insbesondere von Kohle, führt die Entgasung der Kohle zur Zersetzung der organischen Kohlesubstanz und zur Abgabe flüchtiger Gase. Hierbei findet die Entgasung bei nahezu konstanter Temperatur des Kohlepartikels statt. Die Zündung beginnt schließlich im Bereich der aus dem Partikel diffundierenden flüchtigen Bestandteile. Die Gaskonzentration ist dabei an der einer Partikeloberfläche maximal und vermindert sich mit dem Abstand zum Partikel. Das Partikel selbst wird dagegen durch die von außen einwirkende Wärme erhitzt und die Zündung findet nur dort statt, wo die Zündverzugszeit, die eine Funktion der Temperatur- und Konzentrationsverteilung ist, ihr Minimum hat.

Die Restkoksverbrennung beginnt schließlich, wenn die Partikeloberfläche eine ausreichend hohe Temperatur erreicht hat. Die Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Sauerstoffkonzentration in der Nähe der Partikeloberfläche.

[0011] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die erste und/oder die zweite Messeinheit als Pyrometer ausgeführt. In diesem Zusammenhang ist es besonders vorteilhaft, wenn die erste Messeinheit zur Erfassung einer Tröpfchen- oder Partikeltemperatur als Quotientenpyrometer bzw. als so genanntes Flammenstrahlpyrometer ausgeführt ist. Die Verwendung eines Quotientenpyrometers, das teilweise auch als Verhältnispyrometer oder Zwei-Farben-Pyrometer bezeichnet wird, ist vorzugsweise für die Messung der Festkörperstrahlung, die eine Breitbandstrahlung aufweist, geeignet, um so die Temperatur zu erfassen. Mit derartigen Pyrometern wird das Verhältnis der Strahlungsintensitäten im Bereich zweier unterschiedlicher Wellenlängen bestimmt. Vorteilhaft hierbei ist, dass die Messung bei nicht stark wellenlängenabhängigem Emissionsgrad weitgehend unabhängig von dessen absolutem Wert ist.

[0012] Weiterhin ist es von Vorteil, wenn die zweite Messeinheit zur Erfassung einer Temperatur in der Umgebung der korrespondierenden Tröpfchen oder Partrikel, insbesondere einer Gastemperatur, als Spektralpyrometer ausgeführt ist. Der Einsatz dieser Pyrometer ist besonders vorteilhaft, da Gase in diskreten Linienspektren strahlen, weil die einzelnen Moleküle nur diskrete Energiemengen absorbieren bzw. emittieren. Das Linienspektrum besteht hier aus schmalen Absorptions- oder Emissionslinien. Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht in diesem Zusammenhang vor, dass mit Hilfe eines Spektralpyrometers die Strahlung des heißen, die Brennstofftröpfchen oder -partikel im Brennraum umgebenden CO_2-Gases in einem sehr schmalen Wellenlängenbereich, der vorzugsweise zwischen 4,5 und 4,65 μm liegt, ausgewertet wird.

[0013] Auf vorteilhafte Weise erfolgt die Messung der

unterschiedlichen Temperaturen, insbesondere der Temperatur eines Tröpfchens- oder Partikels einerseits und eines Gases andererseits an annähernd gleicher Stelle innerhalb des Brennraumes.

[0014] Neben einer Messvorrichtung zur Erfassung des Ausbrandverhaltens von Brennstofftröpfchen oder -partikeln innerhalb eines Brennraums bezieht sich die Erfindung auch auf ein entsprechendes Verfahren. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich hierbei dadurch aus, dass die Temperatur eines im Brennraum befindlichen Tröpfchens oder Partikels sowie eine Temperatur in einer Umgebung dieses Tröpfchens oder Partikels erfasst und an die Auswerteinheit übertragen werden und dass auf der Grundlage einer Differenz zwischen der Tröpfchen- oder Partikeltemperatur und der Temperatur in unmittelbarer Umgebung des korrespondierenden Tröpfchens- oder Partikels in der Auswerteinheit die Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum generiert wird. Auf vorteilhafte Weise kann die Information über den Grad des Ausbrandes innerhalb des Feuerraums zur Steuerung einer Ölzuführung, einer Kohlenmühleneinstellung, einer Sichtereinstellung, einer Luftzufuhr in der Feuerungsanlage, eines an einem Brenner der Feuerungsanlage herrschenden Verbrennungsluftverhältnisses und/oder zur Steuerung der Zufuhr eines bestimmten Brennstoffes verwendet werden.

[0015] Gemäß einer speziellen Weiterbildung erfolgt die Anordnung und die Anzahl der Pyrometer derart, dass zwei- oder dreidimensionale Ausbrandprofile in der Auswerteinheit generiert werden. Auf diese Weise kann das Ausbrandverhalten innerhalb des Feuerraums zuverlässig erfasst und auch bei größeren Kesselanlagen zuverlässige Informationen zur Steuerung der Feuerungsanlage gewonnen werden. Bei der Auswertung der ermittelten Temperaturdifferenzen lässt sich aufgrund der gegenüber dem Traggasstrom vorliegenden Übertemperatur der Öltröpfchen oder Kohlepartikel ein zuverlässiges Maß für den Ausbrand, insbesondere den Restkoksausbrand heranziehen. Erst, sobald sich die Tröpfchen- oder Partikeltemperatur im Gleichgewicht mit der Traggastemperatur befindet, ist die Verbrennung abgeschlossen. Auf der Grundlage der erfassten Temperaturdifferenz lassen sich bevorzugt verbrennungstechnische Maßnahmen ergreifen, die zu dem gewünschten Ausbrandverhalten führen. Das Ausbrandverhalten lässt sich hierbei gleichzeitig mit den relevanten Betriebsparametern korrelieren, so dass sich eine optimale Verbrennungsstrategie in einem geschlossenen Regelkreis abbilden lässt.

[0016] Im Folgenden wird die Erfindung ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1: Schematische Darstellung eines von mehreren Brennern befeuerten Brennraumes sowie

Fig. 2: Schematische Temperatur- und Korngrößenänderungen in einer Kohlenstaub-flamme (nach Zelkowski).

[0017] Figur 1 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Feuerraum 4 mit mehreren daran angeordneten Brennern 2, dem ein Kohlestaubstrom als Brennstoffstrom, zugeleitet wird. Kohlenstaubfeuerungen kommen vorwiegend in Großkraftwerken zum Einsatz, werden allerdings zum Teil aufgrund steigender Energiepreise auch in kleineren Anlagen, bspw. zur Feuerung von Wasserrohrkesseln, in Zementmühlen oder Trocknungsöfen, eingesetzt. Bei diesem kraftwerkstechnischen Verfahren wird die Kohle zunächst mit Hilfe von Kohlemühlen 3 gemahlen und getrocknet. Anschließend wird die gemahlene Kohle entweder in einem Zwischenbunker gespeichert (indirekte Feuerung) oder direkt aus dem Mühlenausgang, der auch als Sichter bezeichnet wird, pneumatisch zu den Kohlestaubbrennern gefördert (direkte Feuerung). In modernen Großkraftwerken, die üblicherweise Leistungen zwischen 200 MW -1000 MW aufweisen, sind direkte Staubfeuerungen heutzutage die Regel. Indirekte Feuerungen werden dagegen oftmals in Zementwerken oder bei kleineren Dampfkesseln verwendet. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf eine direkte Kohlestaubfeuerung, wie sie vornehmlich in Großkraftwerken zum Einsatz kommt.

[0018] In Figur 1 ist schematisch ein Dampferzeuger 1 mit einer Tangentialfeuerung für Rohbraunkohle dargestellt. Die Brenner 2 werden direkt aus den Kohlemühlen 3 bzw. über die Sichter mit dem für die Verbrennung benötigten Kohlestaub versorgt und sind symmetrisch um den Brennraum 4 angeordnet. In den Kohlemühlen 3 erfolgen zunächst das Mahlen sowie die Trocknung der Kohle, die anschließend in Form von Staub mit Hilfe von Tragluft 5 pneumatisch zu den Brennern 2 gefördert wird. Von den in einer derartigen Feuerungsanlage 1 vorgesehenen Mühlen 3 sind üblicherweise nicht alle gleichzeitig in Betrieb, um im Falle von Mühlenausfällen trotzdem den benötigten Brennstoff bereitstellen zu können.

[0019] Jede der dargestellten Kohlemühlen 3 versorgt vier Brenner 2 mit Kohlestaub, wobei die Brenner 2 jeweils über eine Luftzufuhr 5 mit Primärluft, Sekundärluft sowie Ausbrandluft versorgt werden. Bei der Primärluft handelt es sich um rückgesaugtes, mit Luft vermischtes Rauchgas, das den Kohlestaub zu den Brennern 2 transportiert. Die Sekundärluft stellt die Hauptverbrennungsluft dar. Die Ausbrandluft wird in zwei Stufen zugeführt und soll mit dem Ziel einer Minderung der NO_x-Emission einen vollständigen CO-Ausbrand gewährleisten.

[0020] Bereits innerhalb der Kohlemühlen 3 erfolgt in der Regel die Erhitzung des Kohlenstaubs, um eine zuverlässige Entfeuchtung der Kohle zu erzielen. Der Verbrennungszone werden durch zwei nebeneinander angeordnete Zuführkanäle einerseits der Kohlenstaub gemeinsam mit einem mit Sauerstoff angereicherten Rauchgas und andererseits nur ein mit Sauerstoff angereichertes Rauchgas zugeführt.

[0021] Wie bereits erläutert worden ist, kann bei der Kohleverbrennung nicht von einem Gleichgewicht der

Temperaturen der brennenden Partikel, des umgebenden Traggases und der Feuerraumwände ausgegangen werden. Dieses Ungleichgewicht der Temperaturen, also die wenigstens eine Temperaturdifferenz, wird erfindungsgemäß genutzt, um Informationen über den Ausbrandgrad innerhalb des Brennraumes 4 zu erhalten. Sobald die Kohlestaubpartikel in den Brennraum 4 eingebracht werden, erfolgt zunächst die Entgasung der flüchtigen Bestandteile, also die sogenannte Pyrolyse. Die Entgasung findet bei nahezu konstanter Temperatur der jeweiligen Kohlepartikel statt. In einer zweiten Phase beginnt die Zündung der Partikel im Bereich der aus dem Partikel diffundierenden flüchtigen Bestandteile. Die Konzentration der flüchtigen Bestandteile ist an der Oberfläche der Partikel maximal und vermindert sich wiederum mit zunehmendem Abstand zum jeweiligen Kohlepartikel.

[0022] Die Kohlepartikel werden dagegen durch die von außen einwirkende Wärme erhitzt. Die Zündung des Kohlepartikels findet dort statt, wo die Zündverzugszeit, die eine Funktion der Temperatur- und Konzentrationsverteilung ist, ihr Minimum hat.

Abschließend in einer letzten Phase findet die Restkoksverbrennung statt. Diese beginnt dann, wenn die Partikeloberfläche eine ausreichend hohe Temperatur erreicht hat. Hierfür ist wiederum eine ausreichende Sauerstoffkonzentration in der Nähe der Partikeloberfläche erforderlich.

[0023] Um die Temperaturdifferenzen zwischen der Partikeltemperatur und der Partikelumgebungstemperatur sind daher im Bereich des in Figur 1 schematisch dargestellten Brennraums 4 zwei unterschiedliche, berührungslos arbeitende Messsonden 6, 7 vorgesehen. Mit diesen Messsonden 6, 7 wird einerseits die Temperatur der strahlenden Gase, bei denen es sich vornehmlich um H_2O und CO_2 handelt, sowie andererseits die Temperatur der strahlenden Kohlepartikel erfasst.

[0024] Die Temperaturmessung der Partikel erfolgt mithilfe eines Flammenpyrometers 6. Da die Strahlung in diesem Fall von den glühenden Ruß- und Brennstoffpartikeln stammt, weisen diese das charakteristische kontinuierliche Spektrum eines Festkörperstrahlers auf. Die emissionsspektroskopischen Besonderheiten der strahlenden Rußpartikel können gegenüber den Brennstoffpartikeln vorzugsweise durch einen Rußfaktor berücksichtigt werden.

Im Gegensatz zu den Partikeln strahlen Gase in diskreten Linienspektren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einzelne Moleküle nur diskrete Energiemengen absorbieren bzw. emittieren. Das Linienspektrum besteht hierbei aus schmalen Absorptions- oder Emissionslinien. Die Bestimmung der Gastemperatur erfolgt mithilfe eines Spektralpyrometers 7, das die Strahlung des heißen CO_2-Gases in einem sehr schmalen Wellenlängenbereich zwischen 4,5 und 4,65 μm erfasst. Vorteilhaft an der erfindungsgemäßen technischen Lösung ist, dass bewährte Messverfahren und Messtechniken einsetzbar sind, die verfügbar sind. Wesentlich ist, dass die zu messenden Temperaturunterschiede an räumlich gleichen Stellen gemessen werden. Die Pyrometer 6, 7 werden entsprechend geeignet angeordnet. Sofern jeweils mehrere Pyrometer 6, 7 des gleichen Typs verwendet werden, um Temperaturmessungen an den Partikeln sowie den Gasen, die die Partikel innerhalb des Brennraums 4 umgeben, durchzuführen, können zwei- oder sogar dreidimensionale Ausbrandprofile erstellt werden.

[0025] In der Auswerteeinheit 8 wird auf der Grundlage der erfassten Temperaturdifferenz ein Grad des Ausbrands ermittelt. Die gegenüber dem Traggasstrom vorliegende Übertemperatur der Kohlepartikel lässt sich als Maß für den Restkoksausbrand heranziehen. Erst, wenn sich die Partikeltemperatur im Gleichgewicht mit der Traggastemperatur befindet, ist die Verbrennung abgeschlossen.

[0026] Zu berücksichtigen ist in jedem Fall, dass im Vergleich zu Einzelpartikelbetrachtungen die Flammenentstehung in einem polydispersen Kohlenstaub-Luft-Gemisch einer Großfeuerungsanlage 1 deutlich komplexer abläuft. Die Wärmeübertragungsverhältnisse in einem, vorzugsweise gekühlten, Feuerraum 4 haben hier erhebliche Bedeutung. Die Temperaturen des Traggases und die Temperatur der Kohlepartikel werden sich unter anderem in Abhängigkeit der herrschenden Strömungs- und Wärmeübertragungsverhältnisse sowie der unterschiedlichen Partikelgrößen unterscheiden (Zelkowski).

[0027] In Figur 2 sind in diesem Zusammenhang die Temperaturverhältnisse bzw. die Temperaturveränderungen einer Kohlenstaubflamme nach Zelkowski dargestellt. Figur 2a) zeigt hierbei die Temperatur dreier unterschiedlich großer Kohlepartikel ($T_{k\delta1}$, $T_{k\delta2}$, $T_{k\delta3}$) sowie des Traggases (T_G) während der Verbrennung, während Figur 2b) die Korngrößen der drei Partikel (δ_1, δ_2, δ_3) zu entnehmen sind. Die mittlere Brennkammertemperatur T_{Bk} liegt bei 1200 K. Deutlich zu erkennen ist, dass sehr kleine Partikel, insbesondere wenn diese einen Durchmesser aufweisen, der sehr viel kleiner als 100 μm ist, rasch erhitzt werden, so dass ihre Temperatur derjenigen des Trägergases schnell sehr nahe kommt. Mittelgroße Partikel werden langsamer erhitzt, erreichen dann aber eine um mehrere 100 K höhere Verbrennungstemperatur als das Traggas. Sehr große Partikel verbrennen hingegen relativ langsam und weisen eine gegenüber dem Trägergas moderate, dafür aber länger andauernde Temperaturerhöhung auf. Durch das unterschiedliche, insbesondere größenabhängige Ausbrandverhalten der Kohlepartikel werden der Sauerstoffbedarf während der Verbrennung, die Wärmeübertragung an den Heizflächen, die Verschlackungsneigung des Kessels, das Emissionsverhalten sowie die Verluste durch unverbrannten Kohlenstoff beeinflusst. Alle diese Größen bestimmen allerdings wiederum in erheblichem Maße den Wirkungsgrad sowie die Verfügbarkeit eines Dampferzeugers 1.

[0028] Um einen optimalen Verbrennungsablauf zu erhalten, kann das Ausbrandverhalten durch verschiedene

Maßnahmen beeinflusst werden. Durch derartige Maßnahmen werden das Korngrößenspektrum des Kohlenstaubs, der sich durch Mühlen- und Sichtereinstellung beeinflussen lässt, die Art und Menge der Luftzufuhr 5, das an den Brennern 2 einzustellende Verbrennungsluftverhältnis sowie letztendlich auch Art des verwendeten Brennstoffs gezielt verändert. Auf der Grundlage des erfindungsgemäßen Messverfahrens, insbesondere der erfassten Temperaturdifferenzen, lassen sich verbrennungstechnisch alle Maßnahmen ergreifen, die zu dem gewünschten Ausbrandverhalten führen. Das Ausbrandverhalten lässt sich gleichzeitig mit dem relevanten Betriebsparametern korrelieren, so dass sich eine optimale Verbrennungsstrategie in einem geschlossenen Regelkreis abbilden lässt.

[0029] Figur 3 zeigt schließlich eine graphische Darstellung von Messergebnissen, die bei der Erfassung der Temperaturdifferenz zwischen der Partikeltemperatur (FT) und der Temperatur des umgebenden Gases (GT) in einem Brennraum aufgenommen worden sind. Mit einem Flammestrahlpyrometer wurden die Temperaturen von Kohlepartikel und mit einem Spktralpyrometer die Temperatur des diese Partikel umgebenden Gases im Brennraum aufgenommen. Die aufgenommenen Temperaturwerte sind eine eine Auswerteeinheit übermittelt worden.

In der Grafik gemäß Figur 3 sind jeweils Temperaturmittelwerte in Bezug auf die die jeweilige Messebene dargestellt. Zunächst wurde die Temperatur der Partikel (FT) sowie des Gases (GT) mit Hilfe der Pyrometer in der Nähe der Brenner erfasst. Die Temperaturdifferenz zwischen der Partikeltemperatur (FT) und der Gastemperatur beträgt hier 130 K. Nach einem Brennweg von etwa 15 m erfolgte die nächste Temperaturmessung in der 40-Meter-Ebene des Dampferzeugers. Die Temperaturdifferenz beträgt in diesem Bereich nur noch 5 K und ist somit vergleichsweise gering. Auf der Grundlage der so ermittelten Temperaturdifferenz ist in der Auswerteeinheit ein Grad für den Ausbrand der Partikel im Brennraum generierbar. Der jeweils ermittelte Ausbrandgrad kann auf vorteilhafte Weise in Bezug auf die Steuerung des Verbrennungsprozesses verwendet werden.

Bezugszeichenliste

[0030]

1 Feuerungsanlage
2 Brenner
3 Kohlemühle
4 Brennraum
5 Luftzufuhr
6 erste Messeinheit
7 zweite Messeinheit

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung eines Ausbrandgrades eines Brennstoffes in einer Feuerungsanlage (1) in der wenigstens teilweise flüssige oder feste Brennstoffe verbrannt werden, die zumindest eine Messeinheit (6, 7) aufweist, durch die an einer Stelle innerhalb des Brennraums (4) eine Temperatur erfassbar ist, die einer Auswerteeinheit (8) zugeführt wird, in der unter Berücksichtigung der im Brennraum (4) erfassten Temperatur wenigstens eine Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum (4) generierbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Messeinheit (6) zur Erfassung der Temperatur eines im Brennraum (4) befindlichen Tröpfchens oder Partikels sowie eine zweite Messeinheit (7) zur Erfassung der Temperatur in einer Umgebung des Tröpfchens oder Partikels vorgesehen sind und dass die Auswerteeinheit (8), an die die erfassten Temperaturen übertragen werden, derart ausgeführt ist, dass auf der Grundlage einer Differenz zwischen der Tröpfchen- oder Partikeltemperatur und der Temperatur in der Umgebung der Tröpfchen oder Partikel die Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum (4) generiert wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite Messeinheit (6, 7) als Pyrometer ausgeführt ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass die erste Messeinheit (6) zur Erfassung einer Tröpfchen- oder Partikeltemperatur als Quotientenpyrometer oder als Flammenstrahlpyrometer ausgeführt ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Messeinheit (7) zur Erfassung der Temperatur in der Umgebung der Tröpfchen oder Partikel als Spektralpyrometer ausgeführt ist.

5. Verfahren zur Messung des Ausbrandgrades eines Brennstoffes in einer Feuerungsanlage (1) in der wenigstens teilweise flüssige oder feste Brennstoffe verbrannt werden, bei dem zumindest an einer Stelle innerhalb des Brennraums (4) eine Temperatur erfasst und die Temperatur einer Auswerteeinheit (8) zugeführt wird, in der unter Berücksichtigung dieser Temperatur wenigstens eine Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum (4) generiert wird,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur eines im Brennraum (4) befindlichen Tröpfchens oder Partikels sowie eine Temperatur in einer Umgebung des Tröpfchens oder Partikels erfasst und an die Auswerteeinheit (8) übertragen werden und dass auf

der Grundlage einer Differenz zwischen der Tröpfchen- oder Partikeltemperatur und der Temperatur in der Umgebung der Tröpfchen oder Partikel in der Auswerteeinheit (8) die Information über das Ausbrandverhalten im Brennraum (4) generiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur eines in der Umgebung des Tröpfchens oder Partikels befindlichen Gases und/oder einer Begrenzungswand (9) des Brennraums (4) erfasst wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Tröpfchens oder Partikels mit einem Flammenpyrometer (6) erfasst wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Gastemperatur mittels eines Spektralpyrometers (7) erfasst wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des im Brennraum (4) befindlichen Gases sowie des Tröpfchens oder Partikels an einer Stelle des Brennraums (4) erfasst werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl und Anordnung der Pyrometer (6, 7) derart erfolgt, dass zwei- oder dreidimensionale Ausbrandprofile in der Auswerteeinheit (8) generiert werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass auf der Grundlage der Temperaturdifferenz eine Information über den Restkoksausbrand generiert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass auf der Grundlage der in der Auswerteeinheit (8) generierten Information Brennstoffzufuhr, eine Kohlenmühleneinstellung, eine Sichtereinstellung, eine Luftzufuhr (5) in der Feuerungsanlage (1), ein an einem Brenner (2) der Feuerungsanlage (1) herrschendes Verbrennungsluftverhältnis und/oder eine Art des verbrannten Brennstoffs verändert wird.

Claims

1. An apparatus for measuring a degree of burnout of a fuel in a furnace (1), in which at least partially liquid or solid fuels are burned, comprising at least one measuring unit (6, 7), with which a temperature can be detected at one point within the combustion chamber (4), which is supplied to an evaluation unit (8), in which, considering the temperature detected in the combustion chamber (4), at least one information about the burnout behavior in the combustion chamber (4) can be generated,
characterized in that a first measuring unit (6) for detecting the temperature of a droplet or particle located in the combustion chamber (4) as well as a second measuring unit (7) for detecting the temperature in a vicinity of the droplet or particle are provided and that the evaluation unit (8), to which the detected temperatures are transferred, is designed such that the information about the burnout behavior in the combustion chamber (4) is generated based on a difference between the droplet or particle temperature and the temperature in the vicinity of the droplets or particles.

2. The apparatus according to claim 1,
characterized in that the first and/or the second measuring unit (6, 7) is designed as a pyrometer.

3. The apparatus according to claim 1 or 2,
characterized in that the first measuring unit (6) for detecting a droplet or particle temperature is designed as a two-color pyrometer or as a flame-jet pyrometer.

4. The apparatus according to any one of claims 1 to 3,
characterized in that the second measuring unit (7) for detecting the temperature in the vicinity of the droplets or particles is designed as a spectral pyrometer.

5. A method for measuring the degree of burnout of a fuel in a furnace (1), in which at least partially liquid or solid fuels are burned, in which a temperature is detected at least at one point within the combustion chamber (4) and the temperature is supplied to an evaluation unit (8), in which, considering this temperature, at least one information about the burnout behavior in the combustion chamber (4) is generated,
characterized in that the temperature of a droplet or particle located in the combustion chamber (4) as well as a temperature in a vicinity of the droplet or particle is detected and transferred to the evaluation unit (8) and that, based on a difference between the droplet or particle temperature and the temperature in the vicinity of the droplets or particles, the information about the burnout behavior in the combustion chamber (4) is generated in the evaluation unit (8).

6. The method according to claim 5,
characterized in that the temperature of a gas located in the vicinity of the droplet or particle and/or of a boundary wall (9) of the combustion chamber (4) is detected.

7. The method according to claim 5 or 6,

characterized in that the temperature of the droplet or particle is detected with a flame pyrometer (6).

8. The method according to any one of claims 5 to 7, **characterized in that** the gas temperature is detected by means of a spectral pyrometer (7).

9. The method according to any one of claims 5 to 8, **characterized in that** the temperature of the gas as well as the droplet or particle located in the combustion chamber (4) is detected at one point of the combustion chamber (4).

10. The method according to any one of claims 5 to 9, **characterized in that** the number and arrangement of the pyrometers (6, 7) is such that two- or three-dimensional burnout profiles are generated in the evaluation unit (8).

11. The method according to any one of claims 5 to 10, **characterized in that** an information about the residual coke burnout is generated based on the temperature difference.

12. The method according to any one of claims 5 to 11, **characterized in that**, based on the information generated in the evaluation unit (8), a fuel supply, a coal mill setting, a sifter setting, an air supply (5) in the furnace (1), an air-fuel ratio present at a burner (2) of the furnace (1) and/or a type of the fuel burned is changed.

Revendications

1. Dispositif de mesure du degré de combustion d'un combustible dans une installation de combustion (1) dans laquelle sont brûlés au moins partiellement des combustibles liquides ou solides, et qui présente au moins une unité de mesure (6, 7) au moyen de laquelle une température peut être détectée dans un point à l'intérieur de la chambre de combustion (4), laquelle température étant transmise à une unité d'évaluation (8) dans laquelle au moins une information concernant le comportement de combustion dans ladite chambre de combustion (4) peut être produite en tenant compte de la température détectée dans ladite chambre de combustion (4),
caractérisé en ce qu'une première unité de mesure (6) pour détecter la température d'une gouttelette ou d'une particule se trouvant dans ladite chambre de combustion (4) et une seconde unité de mesure (7) pour détecter la température dans un environnement de la gouttelette ou de la particule sont prévues, et **en ce que** ladite unité d'évaluation (8) à laquelle les températures détectées sont transmises, est conçue de telle manière que l'information concernant le comportement de combustion dans la chambre de combustion (4) est produite sur la base d'une différence entre la température des gouttelettes ou des particules et la température dans l'environnement des gouttelettes ou des particules.

2. Dispositif selon la revendication 1,
caractérisé en ce que ladite première et/ou ladite seconde unité de mesure (6, 7) est conçue comme un pyromètre.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2,
caractérisé en ce que ladite première unité de mesure (6) pour détecter une température de gouttelette ou de particule est conçue comme un pyromètre à quotient ou comme un pyromètre à faisceau de flamme.

4. Dispositif selon une quelconque des revendications 1 à 3,
caractérisé en ce que ladite seconde unité de mesure (7) pour détecter la température dans l'environnement des gouttelettes ou particules est conçue comme un pyromètre spectral.

5. Procédé de mesure du degré de combustion d'un combustible dans une installation de combustion (1) dans laquelle sont brûlés au moins partiellement des combustibles liquides ou solides, procédé qui consiste en la détection d'une température dans au moins un point à l'intérieur de la chambre de combustion (4) et en la transmission de cette température à une unité d'évaluation (8) dans laquelle au moins une information sur le comportement de combustion dans ladite chambre de combustion (4) est produite en fonction de cette température,
caractérisé en ce que la température d'une gouttelette ou d'une particule se trouvant dans ladite chambre de combustion (4) et une température dans un environnement de la gouttelette ou de la particule sont détectées et transmises à ladite unité d'évaluation (8), et **en ce que** l'information concernant le comportement de combustion dans ladite chambre de combustion (4) est produite, dans ladite unité d'évaluation (8), sur la base d'une différence entre la température des gouttelettes ou des particules et la température dans l'environnement des gouttelette ou des particules.

6. Procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce que la température d'un gaz se trouvant à proximité de la gouttelette ou de la particule et/ou d'une paroi limite (9) de ladite chambre de combustion (4) est détectée.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6,
caractérisé en ce que la température de la gouttelette ou de la particule est détectée au moyen d'un pyromètre de flamme (6).

8. Procédé selon une quelconque des revendications 5 à 7,
caractérisé en ce que la température du gaz est détectée au moyen d'un pyromètre spectral (7).

9. Procédé selon une quelconque des revendications 5 à 8,
caractérisé en ce que la température du gaz se trouvant dans ladite chambre de combustion (4) et de la gouttelette ou de la particule est détectée dans un point de ladite chambre de combustion (4).

10. Procédé selon une quelconque des revendications 5 à 9,
caractérisé en ce que le nombre et la disposition desdits pyromètres (6, 7) sont tels que des profils de combustion en deux ou trois dimensions sont produits dans ladite unité d'évaluation (8).

11. Procédé selon une quelconque des revendications 5 à 10,
caractérisé en ce qu'une information sur la combustion du coke résiduel est produite sur la base de la différence de température.

12. Procédé selon une quelconque des revendications 5 à 11,
caractérisé en ce que, sur la base de l'information produite dans ladite unité d'évaluation (8), une alimentation en combustible, une configuration d'un broyeur à charbon, une configuration d'un séparateur, une alimentation en air (5) dans ladite installation de combustion (1), un rapport d'air de combustion régnant sur un brûleur (2) de ladite installation de combustion (1) et/ou un type du combustible brûlé sont modifiés.

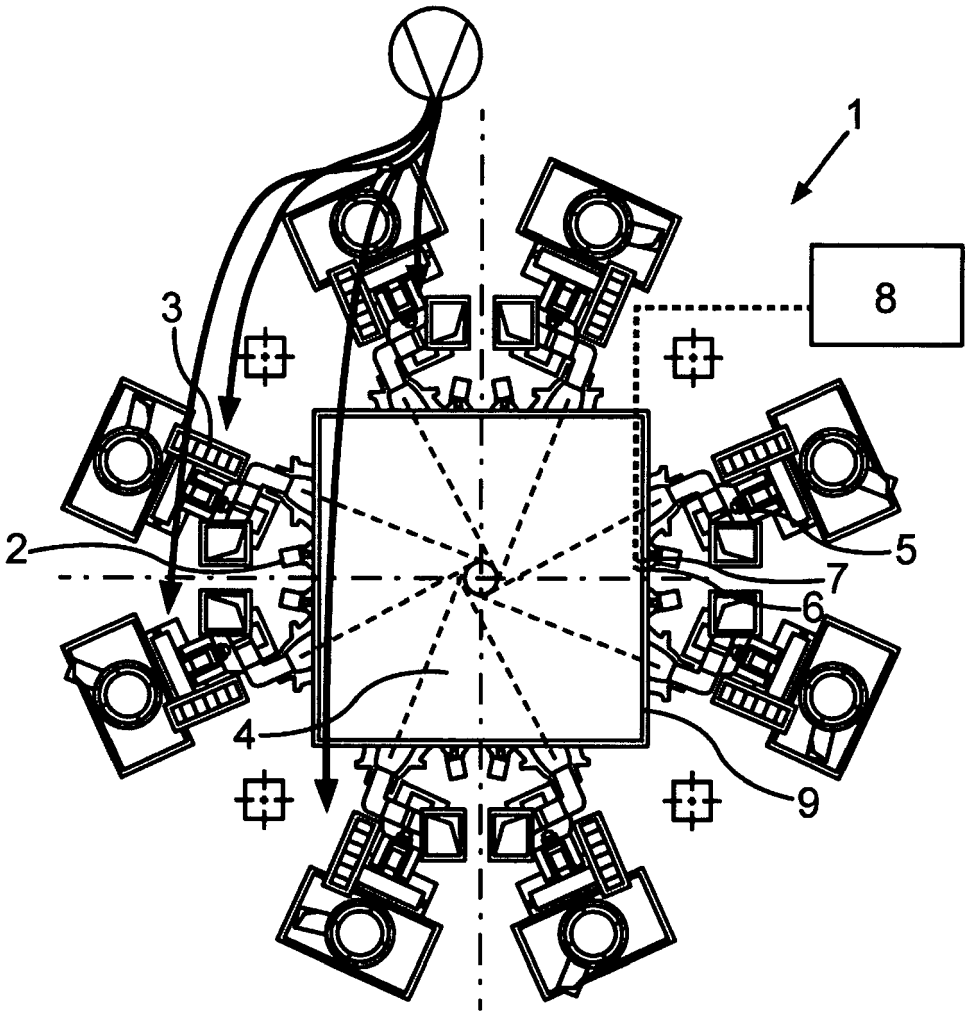


Fig. 1

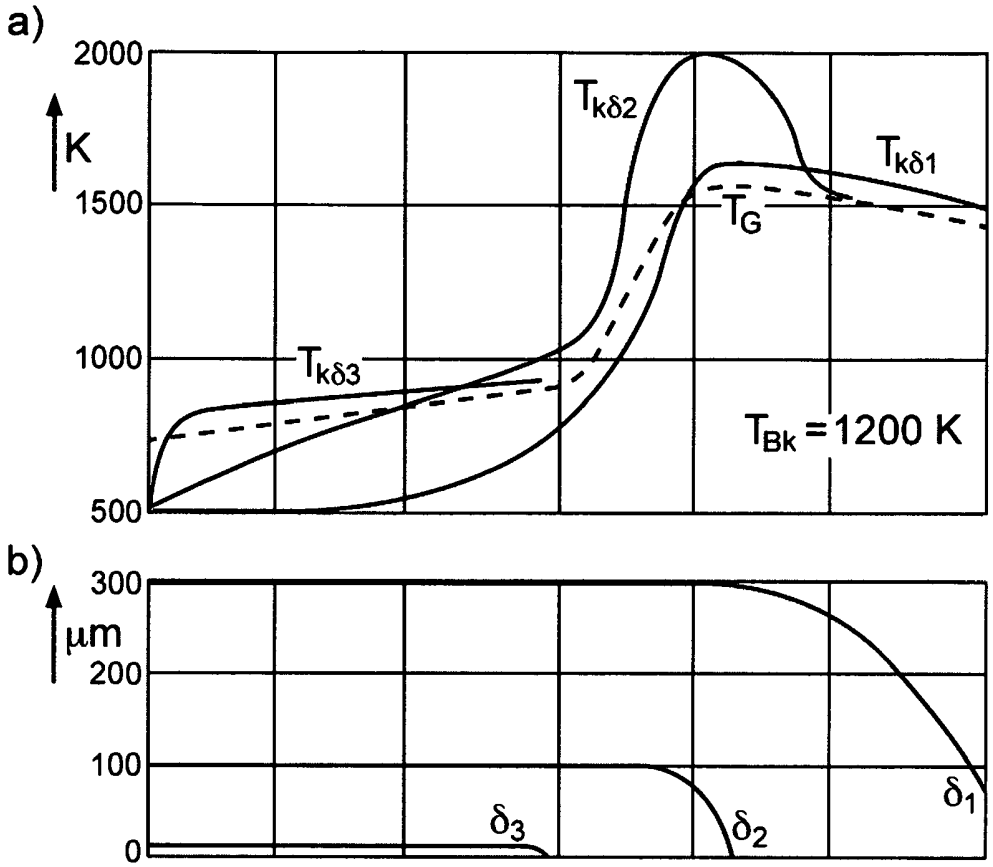

a)
2000
K
1500
1000
500
$T_{k\delta 2}$
$T_{k\delta 1}$
T_G
$T_{k\delta 3}$
T_{Bk} = 1200 K
b)
300
µm
200
100
0
δ_3
δ_2
δ_1

Fig. 2

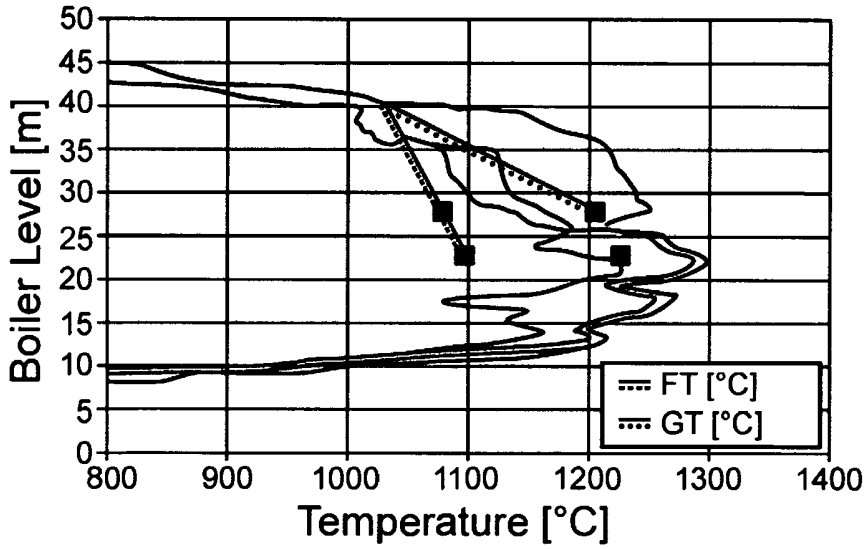

Boiler Level [m]
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
Temperature [°C]
FT [°C]
GT [°C]

Fig. 3

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 0696708 A1 **[0003]**
- JP 2012013580 B **[0006]**
- GB 1208786 A **[0006]**
- WO 2008110341 A **[0006]**
- EP 1615469 A **[0006]**
- US 2840145 A **[0006]**
- US 2840146 A **[0006]**
- EP 0696708 A **[0006]**