



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.06.2010 Patentblatt 2010/25

(51) Int Cl.:
F23N 1/02 (2006.01) F23N 5/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08172545.9**

(22) Anmeldetag: **22.12.2008**

(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

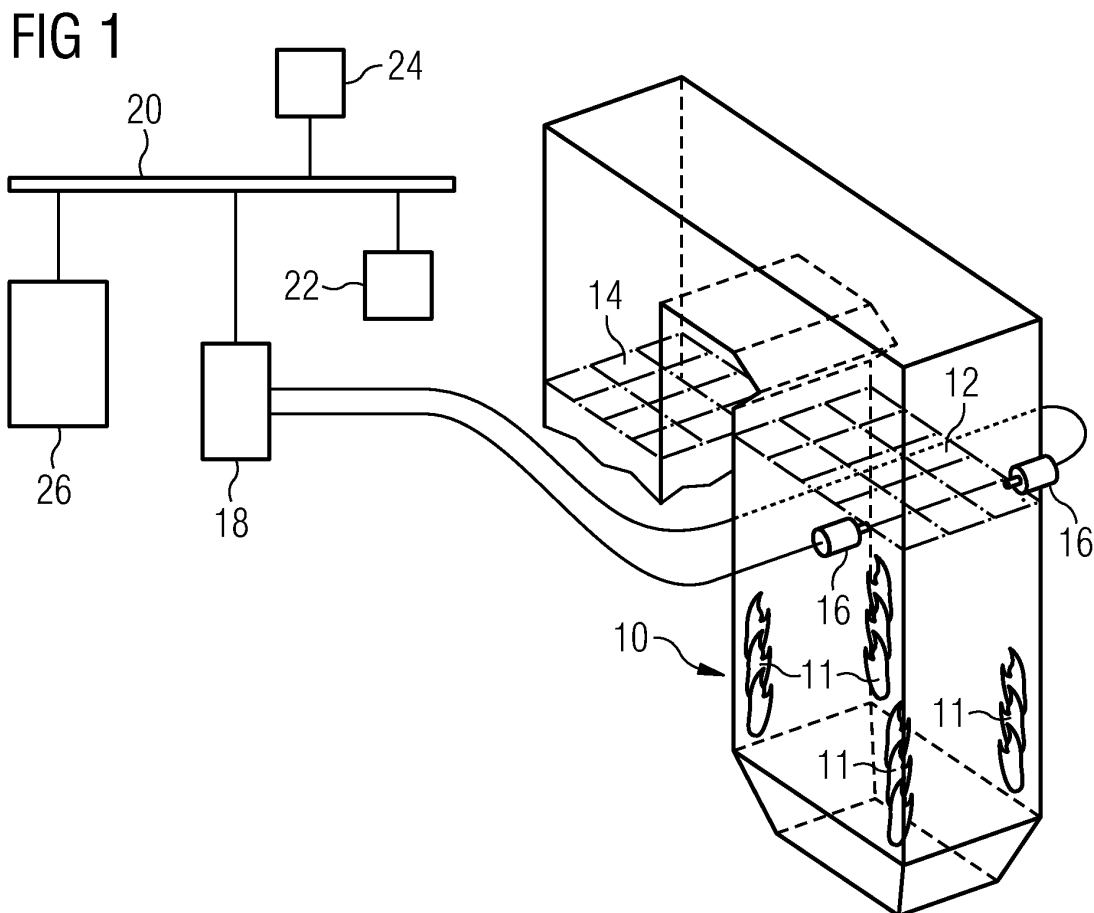
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Meerbeck, Bernhard**
60316 Frankfurt (DE)
• **Speh, Rainer**
64331 Weiterstadt (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung in einem Kraftwerk**

(57) Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennstoff in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks wird eine reale Konzentrationsverteilung eines Stoffes und/oder eine reale Temperaturverteilung im Verbrennungsraum in

mindestens einer Dimension gemessen, die reale Konzentrationsverteilung und/oder Temperaturverteilung ausgewertet und die Verbrennung des Brennstoffs derart gesteuert, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung und/oder Temperaturverteilung in der mindestens einen Dimension entsteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennmateri-
 5 al in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks bei dem eine reale Konzentrationsverteilung eines Stoffes und/oder eine reale Temperaturverteilung im Verbrennungsraum gemessen wird.

[0002] Bei Kraftwerken ist es das grundlegende Ziel, die in einem Verbrennungsraum des Kraftwerks, beispielsweise einem Kessel mit einer quadratischen Grundfläche von 10 Meter mal 10 Meter, stattfindende Verbrennung möglichst großflächig zu überwachen, um daraus die notwendigen Größen für die Optimierung des Verbrennungsprozesses ableiten zu können.

[0003] So ist als Verfahren die Absorptionsspektroskopie bekannt. Als alternative Messtechnik ist die Schall-Pyrometrie bekannt. Mit Absorptionsspektroskopie oder Schall-Pyrometrie können nur Mittelwerte einer Linie im Kesselraum bzw. Verbrennungsraum gemessen werden.

[0004] Zum Berechnen der Temperatur- und -Konzentrationsverteilung in einer Ebene eines Verbrennungsraums aus gemessenen Mittelwerten an verschiedenen Stellen des Verbrennungsraumes eines Kraftwerks ist die CAT-Messtechnik, die Computer Aided Tomographie, bekannt.

[0005] Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine weitergehende Optimierung der Verbrennung in einem Kraftwerk zu schaffen.

[0006] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1, einem Verfahren gemäß Anspruch 5, einer Vorrichtung gemäß Anspruch 9 und einer Vorrichtung gemäß Anspruch 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Optimieren der Verbrennung von Brennmateri-
 40 al in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks umfasst die Schritte: Messen einer realen Konzentrationsverteilung eines Stoffes im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension, Auswerten der realen Konzentrationsverteilung und Steuern der Verbrennung des Brennmaterials derart, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung des Stoffes in der mindestens einen Dimension entsteht.

[0008] Alternativ oder zusätzlich umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zum Optimieren der Verbrennung von Brennmateri-
 45 al in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks die Schritt: Messen einer realen Temperaturverteilung im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension, Auswerten der realen Temperaturverteilung und Steuern der Verbrennung des Brennmaterials derart, dass eine symmetrische Temperaturverteilung in der mindestens einen Dimension entsteht.

[0009] Entsprechend umfasst eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennmateri-
 50 al in einem Verbrennungsraum eines Kraft-

werks eine Einrichtung zum Messen einer realen Konzentrationsverteilung eines Stoffes im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension, eine Einrichtung zum Auswerten der realen Konzentrationsverteilung und eine Einrichtung zum Steuern der Verbrennung des Brennmaterials derart, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung des Stoffes in der mindestens einen Dimension entsteht.

[0010] Alternativ oder zusätzlich umfasst eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennmateri-
 10 al in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks eine Einrichtung zum Messen einer realen Temperaturverteilung im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension, eine Einrichtung zum Auswerten der realen Temperaturverteilung und eine Einrichtung zum Steuern der Verbrennung des Brennmaterials derart, dass eine symmetrische Temperaturverteilung in der mindestens einen Dimension entsteht.

[0011] Bei einer ersten vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden beim Messen zweidimensionale Konzentrationsverteilungen und/oder Temperaturverteilungen gemessen und daraus beim Auswerten mindestens eine eindimensionale Konzentrationsverteilung bzw. Temperaturverteilung errechnet.

[0012] Bei einer zweiten vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird beim Auswerten mindestens eine Kennzahl für die Symmetrie der realen Konzentrationsverteilung und/oder Temperaturverteilung ermittelt und beim Steuern mindestens ein Steuerparameter in Abhängigkeit der mindesten eines Kennzahl verändert.

[0013] Bei einer dritten vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird beim Auswerten die reale Konzentrationsverteilung und/oder Temperaturverteilung in mehrere Abschnitte zerlegt und die Verbrennung derart gesteuert, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung bzw. Temperaturverteilung in jedem der Abschnitte entsteht.

[0014] Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß auf der Grundlage bekannter Messtechniken eine mindestens eindimensionale, bevorzugt aber zweidimensionale Verteilung für die Temperatur und/oder Konzentration mindestens eines Stoffes erzeugt. Aus der derart gemessenen Verteilung werden eindimensionale bzw. mathematische Verteilungen oder Kurven entlang einer Achse bzw. entlang eines Achsenabschnitts berechnet. Zu den Verteilungen werden bevorzugt Kennzahlen ermittelt, die die Symmetrie bzw. Asymmetrie (Schiefe) der mathematischen Verteilung erfassen oder beschreiben. In Abhängigkeit der Kennzahlen werden geeignete Stellorgane, wie z.B. Zuteiler für Kohle oder Luftregelklappen derart vertrimmt, dass eine symmetrische Verteilung in jeder Achse entsteht. Wenn entlang einer Achse mehrere mathematische Verteilungen existieren, werden die betrachteten Achsen in geeignete Achsenabschnitte aufgeteilt und es wird dann für jeden der Abschnitte die oben genannte Optimierung vorgenommen.

[0015] Mit der beschriebenen erfindungsgemäßen

Vorgehensweise und der zugehörigen Vorrichtung wird eine weitergehend homogene und damit schadstoffarme Verbrennung unter automatischer Anpassung der Regelungsparameter möglich. Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Lösung anhand der beigefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 3 graphische Darstellungen mittels Graustufen der Verteilungen von CO und O₂ in einer Messebene der Vorrichtung gemäß Fig. 1 vor und nach einer erfindungsgemäßen Optimierung.

[0016] In Fig. 1 ist ein Verbrennungsraum 10 eines weiter nicht veranschaulichten Kohlekraftwerks dargestellt, in dem beim Betrieb des Kohlekraftwerks ein Kohlefeuer brennt. In dem Verbrennungsraum 10 befinden sich dabei das Brennmaterial Kohle mit zugehörigen Brenngasen, Flammen 11 sowie Abgase.

[0017] Im Verbrennungsraum 10 sind zwei Messebenen 12 und 14 vorgesehen, an deren Rand sich jeweils beabstandet von einander Messinstrumente 16 befinden. Jeweils zwei der Messinstrumente 16 ermöglichen eine linienförmige Messung in der zugehörigen Messebene 12 bzw. 14, wobei mit Hilfe der Messinstrumente 16 und einer zugehörigen Auswerteeinrichtung 18 z. B. die Konzentration der Stoffe O₂ (Sauerstoff) und CO (Kohlenmonoxid) gemessen werden können.

[0018] Ferner kann mit den Messinstrumenten 16 und der Auswerteeinrichtung 18 die Temperaturverteilung in der zugehörigen Messebene 12 bzw. 14 ermittelt werden. Die Messung beruht dabei auf einer Kombination von Messtechnik und CAT-Berechnung.

[0019] Die Auswerteeinrichtung 18 ist über einen Datenbus 20 mit einer Optimierungseinrichtung 22, einer Bedieneinrichtung 24 und einer Leiteinrichtung bzw. Leittechnik 26 betrieblich gekoppelt. Über die Bedieneinrichtung 24 werden die von der Auswerteeinrichtung 18 ermittelten realen Konzentrationsverteilungen sowie Temperaturverteilungen derart genutzt, dass mit der Optimierungseinrichtung 22 Vorschläge für eine Optimierung der Verbrennung erstellt und diese in der Leiteinrichtung 26 verwandt werden können. Dadurch werden die in dem Verbrennungsraum 10 brennenden Flammen 11 insbesondere im Hinblick auf einen geringen Ausstoß von NO_x (Stickoxid) optimiert.

[0020] Zur Optimierung wertet die Optimierungseinrichtung 22 die gemessenen realen Konzentrationsverteilungen aus und steuert die Verbrennung derart, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung der Stoffe Sauerstoff und Kohlenmonoxid in mindestens einer Achse bzw. Dimension entsteht.

[0021] Das zugehörige Verfahren ist in Fig. 2 veranschaulicht. Es umfasst den Schritt 28 des Messens der Konzentrationsverteilung zumindest der Stoffe O₂ und CO in den oben genannten Messebenen 12 und 14. Im Schritt 30 wird die Temperaturverteilung in diesen Ebenen ermittelt.

[0022] Diese Eingangsdaten werden im Schritt 32 verwendet, um aus den Konzentrationsverteilungen eindimensionale bzw. mathematische Verteilungen bzw. Kurven sowie zugehörige Kennzahlen für die Symmetrie bzw. Asymmetrie der Verteilungen auszuwerten. Ferner werden die Verteilungen bzw. Kurven im Schritt 32 in mehrere Abschnitte mit eigenen, zugehörigen Verteilungen zerlegt.

[0023] Nachfolgend wird in einem Schritt 34 auf der Grundlage dieser Ermittlungen eine Optimierung der Verbrennung dahingehend vorgenommen, dass symmetrische Konzentrations- und Temperaturverteilungen entstehen. Diese können in den Messebenen 14 und 16 überwacht werden, so dass insgesamt ein geschlossener Regelkreis zum Schritt 28 entsteht.

[0024] Obwohl aus der Messung gemäß den Schritten 28 und 30 tausende von Merkmalen bzw. Informationen der Verbrennung ausgewertet werden könnten, wird bei der beschriebenen Vorgehensweise bewusst nur ein sehr kleiner Ausschnitt bzw. Teil dieser Informationen verarbeitet. Anders wäre ein sinnvolles Verhältnis von Kosten zu Nutzen nicht zu erreichen.

[0025] Die Auswertung erfolgt bezogen auf drei Grundannahmen bzw. drei Grundvereinfachungen: Es werden nur direkte Messwerte, Momente und Gradienten der Messungen verwendet. So wird insbesondere die Verteilungstomographie der gemessenen Konzentrationen und Temperaturen auf der Basis von insbesondere 20 bis 25 Kreuzungspunkten der Messungen rekonstruiert. Diese direkten Messwerte werden als Merkmalsvektoren beschrieben. Es werden ferner die grundlegenden Differenzwerte zwischen diese direkten Messwerten verwendet und es können, wenn gewünscht, aufgrund von Interpolation Zwischenwerte ermittelt werden.

[0026] Um Verteilungen in jeder gewünschten Richtung zu erhalten, werden das erste bis vierte Moment entlang der Horizontalen, der Vertikalen und der beiden Diagonalen eines jeden Messfeldes, also jedes Feldes zwischen den Kreuzungspunkten ermittelt. Die Momente werden basierend auf den Profilen bzw. Verteilungen längs jeder Messrichtung bzw. Dimension ermittelt. Das erste und zweite Moment repräsentieren den Durchschnittswert und die Varianz bzw. Streuung einer Verteilung. Das dritte und vierte Moment repräsentieren die Schiefe und die Wölbung einer Verteilung. Die Schiefe ist ein Maß für die Symmetrie bzw. den Mangel an Symmetrie. Die Wölbung ist ein Maß, ob die Verteilung im Vergleich zu einer normalen Verteilung bzw. Normverteilung spitz oder flach ist.

[0027] In jedem Messfeld wird ferner der Gradient des Durchschnittswertes ermittelt. Die Magnitude bzw. der Wert des Gradienten gibt (z.B. dargestellt als ein Pfeil im

jeweiligen Messfeld) Auskunft darüber, wo sich in der Verteilung Spitzen bzw. Konzentrationen befinden. Fig. 3 zeigt das Ergebnis der derart vorgenommenen Optimierung der Verbrennung. Es ist aus der Fig. 3 deutlich die weitestgehend symmetrische Verteilung von CO und O₂ in der Messebene 12 nach der Optimierung zu erkennen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Optimieren der Verbrennung von Brennstoffmaterial in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks mit den Schritten:

- Messen (28) einer realen Konzentrationsverteilung eines Stoffes im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension,
- Auswerten (32) der realen Konzentrationsverteilung und
- Steuern (34) der Verbrennung des Brennstoffmaterials derart, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung des Stoffes in der mindestens einen Dimension entsteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem beim Messen (28) zweidimensionale Konzentrationsverteilungen gemessen und daraus beim Auswerten (32) mindestens eine eindimensionale Konzentrationsverteilung errechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem beim Auswerten (32) mindestens eine Kennzahl für die Symmetrie der realen Konzentrationsverteilung ermittelt und beim Steuern (34) mindestens ein Steuerparameter in Abhängigkeit der mindestens einen Kennzahl verändert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem beim Auswerten (32) die reale Konzentrationsverteilung in mehrere Abschnitte zerlegt und die Verbrennung derart gesteuert wird, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung in jedem der Abschnitte entsteht.

5. Verfahren zum Optimieren der Verbrennung von Brennstoffmaterial in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit den Schritten:

- Messen (30) einer realen Temperaturverteilung im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension,
- Auswerten (32) der realen Temperaturverteilung und
- Steuern (34) der Verbrennung des Brennstoffmaterials derart, dass eine symmetrische Temperaturverteilung in der mindestens einen Dimen-

sion entsteht.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem beim Messen (30) zweidimensionale Temperaturverteilungen gemessen und daraus beim Auswerten (32) mindestens eine eindimensionale Temperaturverteilung errechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem beim Auswerten (32) mindestens eine Kennzahl für die Symmetrie der realen Temperaturverteilung ermittelt und beim Steuern (34) mindestens ein Steuerparameter in Abhängigkeit der mindestens einen Kennzahl verändert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem beim Auswerten (32) die reale Temperaturverteilung in mehrere Abschnitte zerlegt und die Verbrennung derart gesteuert wird, dass eine symmetrische Temperaturverteilung in jedem der Abschnitte entsteht.

9. Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennstoffmaterial in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks mit

- einer Einrichtung (16) zum Messen einer realen Konzentrationsverteilung eines Stoffes im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension,
- einer Einrichtung (18) zum Auswerten der realen Konzentrationsverteilung und
- einer Einrichtung (22, 26) zum Steuern der Verbrennung des Brennstoffmaterials derart, dass eine symmetrische Konzentrationsverteilung des Stoffes in der mindestens einen Dimension entsteht.

10. Vorrichtung zum Optimieren der Verbrennung von Brennstoffmaterial in einem Verbrennungsraum eines Kraftwerks, insbesondere nach Anspruch 9, mit

- einer Einrichtung (16) zum Messen einer realen Temperaturverteilung im Verbrennungsraum in mindestens einer Dimension,
- einer Einrichtung (18) zum Auswerten der realen Temperaturverteilung und
- einer Einrichtung (22, 26) zum Steuern der Verbrennung des Brennstoffmaterials derart, dass eine symmetrische Temperaturverteilung in der mindestens einen Dimension entsteht.

FIG 1

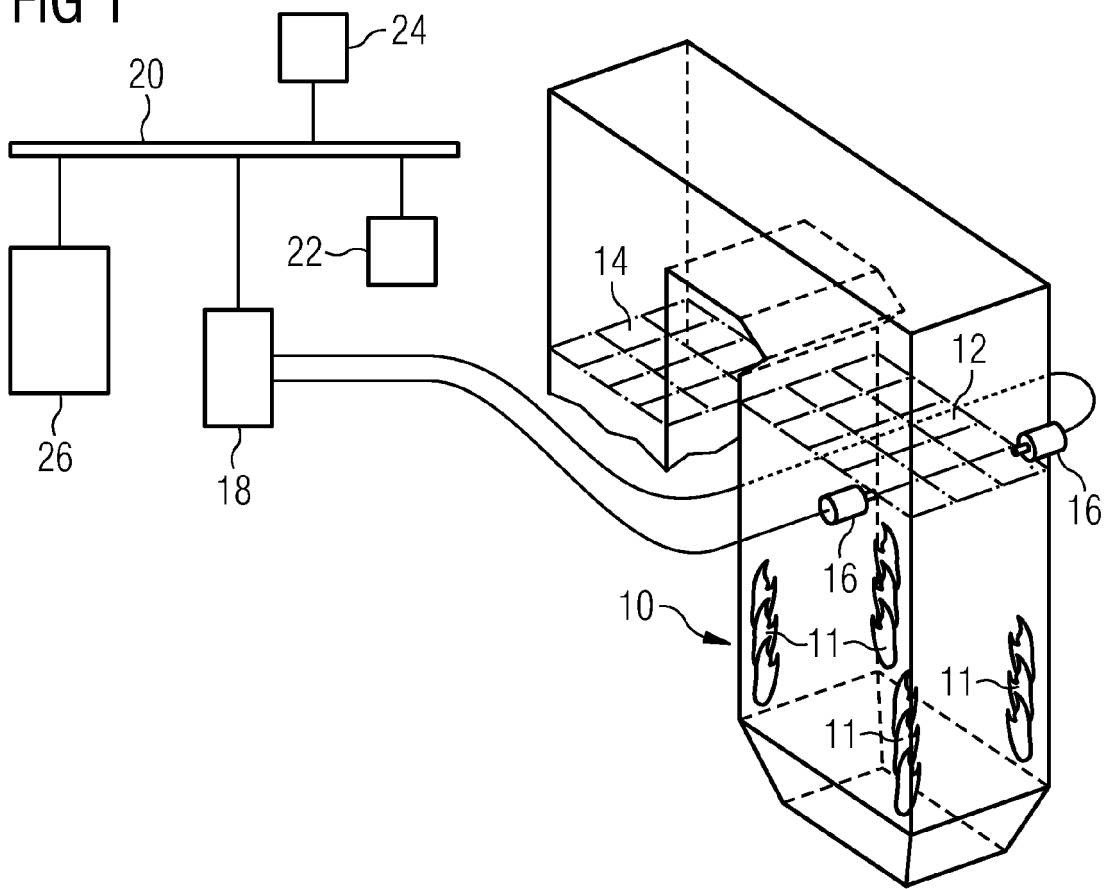


FIG 2

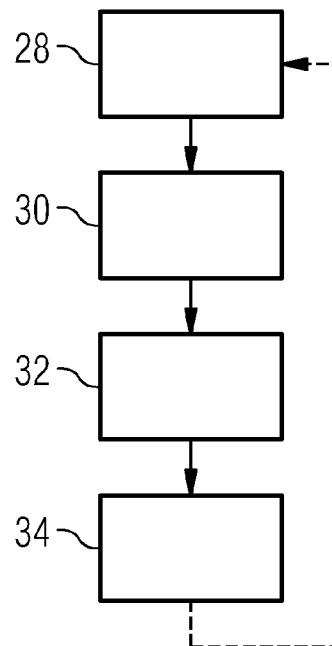
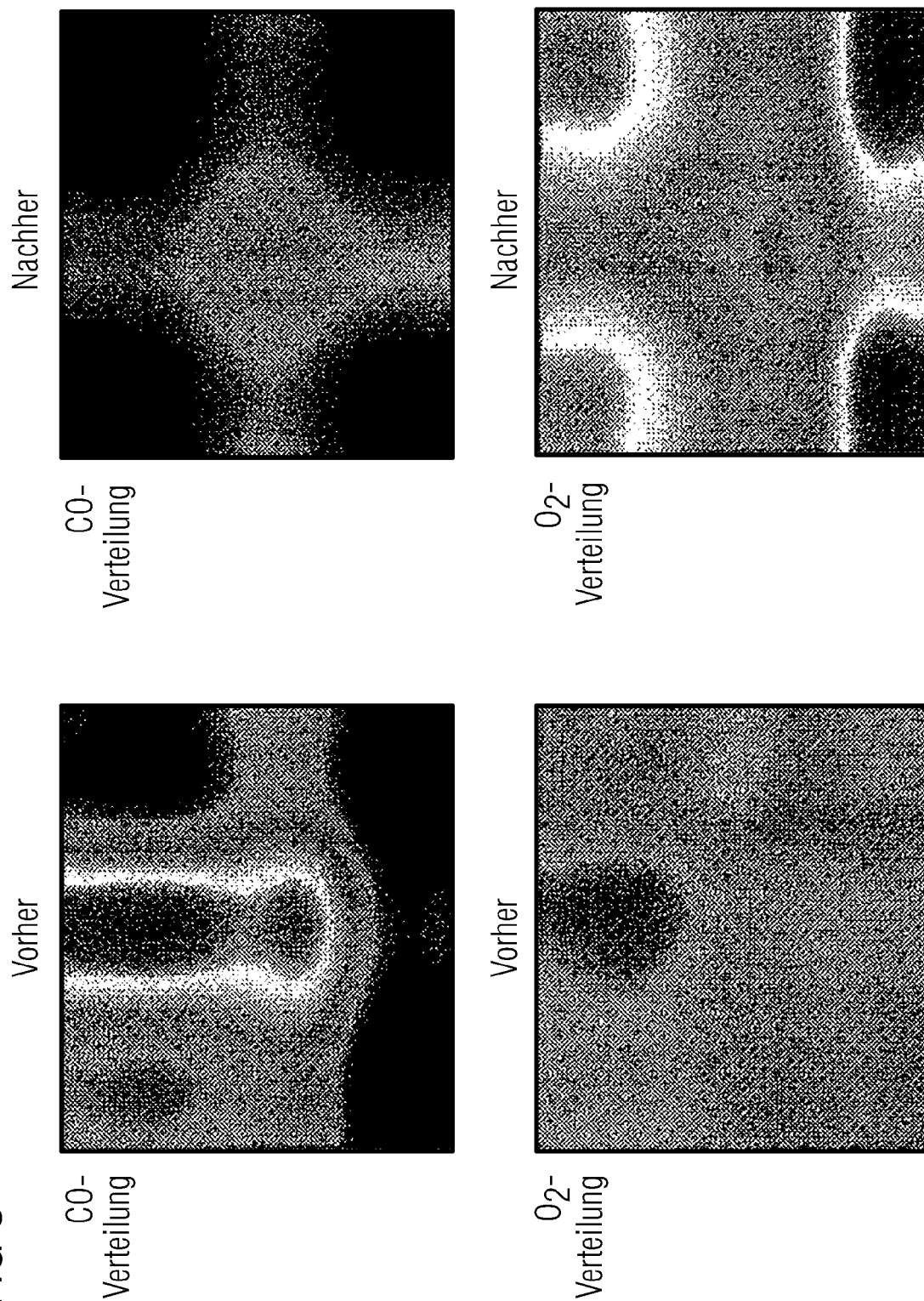


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 08 17 2545

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 99/39137 A1 (SIEMENS AG [DE]; MERKLEIN THOMAS [DE]; FASTNACHT FELIX [DE]) 5. August 1999 (1999-08-05) * das ganze Dokument *	1-2,5-6, 9-10	INV. F23N1/02 F23N5/00
X	DE 43 05 645 A1 (RWE ENTSGUNG AG [DE]) 25. August 1994 (1994-08-25) * das ganze Dokument *	1-2,5-6, 9-10	
A	US 7 058 617 B1 (HARTMAN ERIC JON [US] ET AL) 6. Juni 2006 (2006-06-06) * Absätze [0170] - [0178], [0304] - [0307] *	3-4,7-8	
A	US 2006/176486 A1 (HO CHI M [US] HO CHI MING [US]) 10. August 2006 (2006-08-10) * Absätze [0001] - [0003], [0005], [0021] - [0025], [0035], [0036], [0037] *	1-2,5-6, 9-10	
A	DE 195 09 412 A1 (SIEMENS AG [DE]) 2. Oktober 1996 (1996-10-02) * das ganze Dokument *	1-2,5-6, 9-10	RECHERCHIERTES SACHGEBIET (IPC) F23N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. August 2009	Prüfer Vogl, Paul
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 Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 08 17 2545

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.

10-08-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9939137	A1	05-08-1999	AT	229630 T	15-12-2002
			AU	740219 B2	01-11-2001
			AU	3325099 A	16-08-1999
			DK	1051585 T3	24-03-2003
			EP	1051585 A1	15-11-2000
			US	6361310 B1	26-03-2002

DE 4305645	A1	25-08-1994	AT	165650 T	15-05-1998
			CA	2115401 A1	27-08-1994
			CN	1096370 A	14-12-1994
			DK	612961 T3	07-10-1998
			EP	0612961 A2	31-08-1994
			ES	2115792 T3	01-07-1998
			JP	6323996 A	25-11-1994
			US	5551780 A	03-09-1996

US 7058617	B1	06-06-2006	US	2006224534 A1	05-10-2006
			US	2006184477 A1	17-08-2006

US 2006176486	A1	10-08-2006	CA	2535090 A1	08-08-2006
			CN	1818617 A	16-08-2006
			EP	1703206 A2	20-09-2006
			JP	2006227003 A	31-08-2006

DE 19509412	A1	02-10-1996	AT	182976 T	15-08-1999
			CN	1176687 A	18-03-1998
			WO	9628694 A1	19-09-1996
			EP	0815397 A1	07-01-1998
			ES	2135872 T3	01-11-1999
			JP	3043424 B2	22-05-2000
			JP	10504889 T	12-05-1998
			RU	2134379 C1	10-08-1999

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82