



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 046 861 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**25.10.2000 Patentblatt 2000/43**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **F23G 5/50**

(21) Anmeldenummer: **00105630.8**

(22) Anmeldetag: **16.03.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **19.04.1999 DE 19917572**

(71) Anmelder:  
**ABB ALSTOM POWER (Schweiz) AG  
5401 Baden (CH)**

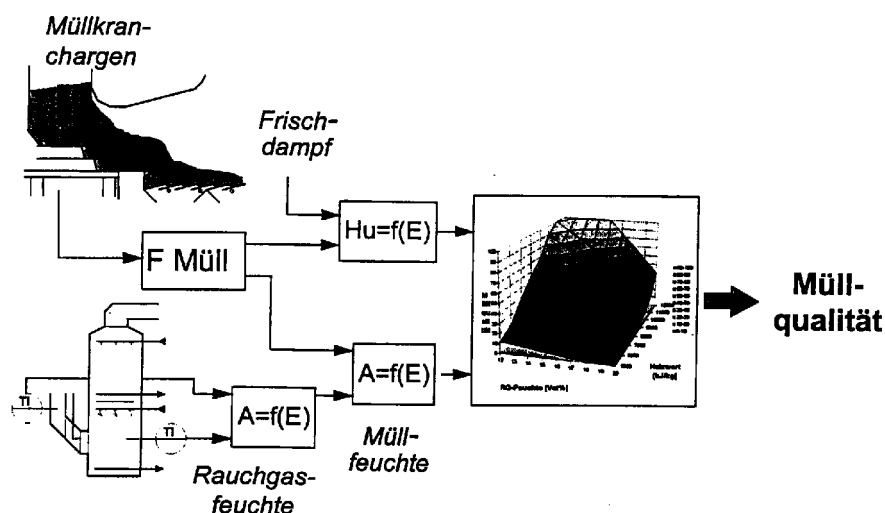
(72) Erfinder: **Dübendorfer, Peter  
8006 Zürich (CH)**

(74) Vertreter:  
**Pöpper, Evamaria, Dr. et al  
ABB Business Services Ltd  
Intellectual Property (SLE-I),  
Haselstrasse 16 Bldg. 699  
5401 Baden (CH)**

(54) **Verfahren zur automatischen Einstellung der Feuerung einer Müllverbrennungsanlage**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der „Müllqualität“ aus den Werten Heizwert (Hu) des Mülls und dem Wassergehalt des Mülls ( $H_2O_{\text{Müll}}$ ). Bei der Müllverbrennung wird der Wassergehalt des Mülls ( $H_2O_{\text{Müll}}$ ) entweder direkt gemessen oder bei einem nachgeschalteten Rauchgaswäscher lediglich aus Temperaturmessungen und einer statistischen

Beziehung zwischen der entbundenen Wärme (QB) und dem Kohlendioxidmassenstrom ( $\dot{m}_{\text{CO}_2}$ ) ermittelt. Die „Müllqualität“ dient zur Einstellung der für die Feuerung wichtigen Grössen wie Verbrennungsluftverteilung, Müllschichtdicke und Rostgeschwindigkeit.



Figur 1

EP 1 046 861 A1

**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

- 5 **[0001]** Bei der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zur automatischen Einstellung der Feuerung einer Müllverbrennungsanlage.

## STAND DER TECHNIK

- 10 **[0002]** Beim Betreiben einer Müllverbrennungsanlage ist es wichtig, die Feuerung der „Müllqualität“ entsprechend so anzupassen, dass sie stabil und im Hinblick auf die Emissionen optimiert wird. Die wichtigsten Einflussfaktoren, welche die Feuerung dabei beeinflussen, sind die Zündfähigkeit und das Abbrennverhalten des Mülls. Da die beiden Faktoren nicht messbare Größen sind, ist eine direkte Messung nicht möglich. Dem Anmelder ist dadurch bis heute keine Messung oder kein Verfahren bekannt, welche(s) die „Müllqualität“ bezüglich der Zündfähigkeit und des Abbrennverhaltens eindeutig bestimmt. Es wurden lediglich indirekte Messungen betrieben, um die Fahrweise einer Müllverbrennung vorausschauend zu betreiben. Da die beiden genannten Kriterien der Zündfähigkeit und des Abbrennverhaltens entscheidend vom Heizwert und vom Wasseranteil des Mülls beeinflusst werden, wird beispielsweise in der Druckschrift DE 44 45 954 A1 ein Verfahren zur Verbrennung von Abfällen beschrieben, welches den Heizwert des Mülls bereits im Zuteilungsschacht ermittelt. Daraus wird über eine Prozesssteuerungseinheit die Menge der Verbrennungsluft und/oder die Menge des zuzuführenden Abfalls gesteuert. Der Heizwert ergibt sich aus Messungen, welche mit Mikrowellen durchgeführt werden. Ausgesandte Mikrowellen werden reflektiert zurückgesendet und aufgrund dieser Reflexion wird der Wassergehalt des Mülls ermittelt. Dieses Messverfahren hat aber verschiedene Nachteile. Der Aufwand für die Installation der Sensoren ist sehr gross und auch relativ teuer. Zudem ist die Messung nur an diskreten Punkten verfügbar. Auch aus der Druckschrift DE 3537945 A1 ist ein Verfahren zur optimierten

- 25 **[0003]** Fahrweise einer Müllverbrennungsanlage bekannt, welche die Luftmenge in Abhängigkeit vom Heizwert regelt. Die Verbrennungsluft kann dabei in einzelnen Zonen eingestellt werden. Dies geschieht kontinuierlich, um die Menge einem schwankenden Heizwert anzupassen. Der Heizwert ergibt sich dabei aus dem Quotient aus aktuell entbundener Wärme und dem Abfallmassenstrom. Bei der Lufteinstellung werden der CO und der O<sub>2</sub>-Gehalt des Abgases mit einbezogen. Nachteilig wird der Wassergehalt des Müll bei diesem Verfahren aber nicht berücksichtigt, obwohl dieser bei einer Verbrennung eine grosse Rolle spielt.

- 30 **[0004]** Auch aus „Entwicklung einer kamerageführten Feuerungsregelung zur Verbesserung des Verbrennungs-, Ausbrand- und Emissionsverhaltens einer Abfallverbrennungsanlage“, GB Kraftwerkstechnik 73 (1993), Heft 7 ist eine Feuerungsregelung einer Abfallverbrennung bekannt. In diesem Verfahren wird zur schadstoffoptimierten Regelung der Temperatur im Feuerungsraum, die O<sub>2</sub>-Konzentration im Abgas und die erzeugte Dampfmenge bestimmt. Aus diesen Werten werden die Müllbeschickung und die Primär- und die Sekundärluftzufuhr ermittelt, wobei der CO-Gehalt minimiert wird. Die Luftzufuhr kann dabei auf dem Feuerungsrost auf verschiedenen Zonen eingestellt werden. Dieses Verfahren arbeitet mit einer Kameraüberwachung, mit welcher mittels Infrarotbildern die Temperaturverteilung im Kessel ermittelt wird. Dieses System ist aber durch die Kameraüberwachung relativ aufwendig und teuer. Dieses Verfahren zur Regelung der Feuerungsleistung von Verbrennungsöfen mit zonenweise unterschiedlicher Primärluftzufuhr am Verbrennungsrost ist auch in der Druckschrift EP 352 620A2 beschrieben.

- 40 **[0005]** Aus der Druckschrift EP 317 731 B1 ist ein Verfahren zum Steuern der Verbrennung von Brennstoff mit stark schwankendem Heizwert bekannt. Dabei wird der Wassergehalt des Brennstoffes und/oder der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Verbrennungsgase durch die Intensität der herrschenden Strahlung im Bereich der Aufgabestelle und der Verdampfungs- und Entgasungszone der Feuerung gemessen. Aus diesem Werten wird unter anderem der Heizwert des Mülls bestimmt und in Abhängigkeit davon die Luftzufuhr gesteuert. Nachteil dieses Standes der Technik ist aber, dass bei sehr feuchtem Müll auch der Wassergehalt und der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Rauchgas durch eine wesentliche schlechtere Verbrennung abnimmt. Dies kann bei einer automatischen Feuerungsführung aber bedeuten, dass der Müll entgegen der Wirklichkeit wesentlich trockener scheint. Zudem werden teure opto-elektrische Sensoren zur Detektion vom Wassergehalt bzw. vom CO<sub>2</sub>-Gehalt benötigt.

- 50 **DARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

- [0006]** Die Erfindung überwindet die erwähnten Nachteile. Sie löst die Aufgabe, ein Verfahren zur Bestimmung der Müllqualität zu schaffen, welches einfach und zuverlässig arbeitet. Ist ein Rauchgaswäscher vorhanden, soll das Verfahren lediglich Temperatur-, Druck- und Differenzmessungen (bspw. Volumenstrom) anwenden. Es soll auch einfach in eine bestehende Müllverbrennungsanlage integriert werden können und kostengünstig sein. Erfindungsgemäss wird dies bei einem Verfahren gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs dadurch erreicht, dass zur Einstellung der Feuerungsgrößen, wie Verbrennungsluftverteilung, Müllschichtdicke und Rostge-

schwindigkeit, eine fiktive Prozessgrösse „Müllqualität“ aus dem Heizwert des Mülls ( $H_u$ ) und dem Wassergehalt des Mülls ( $H_2O_{Müll}$ ) bestimmt wird.

Ist ein Rauchgaswäscher vorhanden, wird durch das erfindungsgemässe Verfahren die direkte Messung des Wassergehalts überflüssig. Weiter kann vorteilhaft über eine statistische Beziehung zwischen der Verbrennungswärme und dem Kohlenstoffmassenstrom das bei der Verbrennung entstandene Wasser ermittelt werden. Zudem ist das Verfahren einfach und kostengünstig in eine bestehende Müllverbrennungsanlage integrierbar, da meist alle notwendigen Geräte bereits vorhanden sind. Trotz der Einfachheit ist es ein sehr zuverlässiges Verfahren.

[0007] Die weiteren Ausgestaltungsmöglichkeiten sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Es zeigen:

- Fig.1 eine schematische Darstellung des erfindungsgemässen Verfahrens,
- Fig.2 ein Diagramm „Müllqualität“ über Heizwert und Wasseranteils des Mülls,
- Fig.3 eine schematische Darstellung zur Ermittlung des Mülldurchsatzes,
- Fig.4 eine schematische Darstellung zur Ermittlung des Mülldurchsatzes,
- Fig.5 eine schematische Darstellung zur Ermittlung des Wassergehalts im Rauchgas,
- Fig.6 eine schematische Darstellung zur Ermittlung des Wassergehalts im Rauchgas mit einer Temperaturmessung vor und im Rauchgaswäscher,
- Fig.7 das Diagramm zur Ermittlung des Wassergehalts im Rauchgas aus Rauchgaseintrittstemperatur und Sättigungstemperatur der Rauchgase im Wäscher,
- Fig.8 eine statistische Beziehung zwischen entbundener Wärme und Massenstrom an Kohlenstoff und
- Fig.9 ein Diagramm über die Fehleranfälligkeit des erfindungsgemässen Verfahrens.

[0009] Es sind nur die für die Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Gleiche Elemente sind in unterschiedlichen Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

## WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0010] Das erfindungsgemässe Verfahren ist geeignet, durch Ermittlung der Werte Wassergehalt des Mülls  $H_2O_{Müll}$  und Heizwert des Mülls  $H_u$

in einer Müllverbrennungsanlage eine fiktive Grösse „Müllqualität“ festzulegen und dadurch eine automatische Feuerungseinstellung beispielsweise in bezug auf wesentliche Grössen wie die Verbrennungsluftverteilung, die Müllschichtdicke oder die Rostgeschwindigkeit vorzunehmen.

[0011] Die Figur 1 zeigt schematisch das Verfahren, um zu den Werten Heizwert ( $H_u$ ) und Müllfeuchte ( $A$ ) zu gelangen. Dabei wird zunächst der Müllmassenstrom ( $F_{Müll}$ ) durch die einzelnen Müllkranchargen ermittelt. Danach wird der Heizwert des Mülls ( $H_u$ ) mit dem Müllmassenstrom und mit der produzierten Frischdampfmenge über die übertragende Wärmemenge berechnet. Durch Temperaturmessungen kann über physikalische Beziehungen weiter die Rauchgasfeuchte ( $A$ ) und über die statistische Beziehung daraus der Wassergehalt ( $A$ ) des Mülls ermittelt werden. Aus dem Heizwert des Mülls und der Müllfeuchte wird eine Müllqualität ermittelt, welche zur automatischen Einstellung der Feuerung verwendet wird. Zur Bestimmung der genannten Werte sind folgende Messungen oder Komponenten, welche in jeder Müllverbrennungsanlage üblicherweise vorhanden sind, erforderlich:

- Müllkrananlage mit Wägeeinrichtung der einzelnen, beschickten Müllchargen
- Kessel
- Frischdampfmengenmessung
- Temperatur und Druck von Frischdampf und Speisewasser
- Verbrennungsluft Volumenstrom
- Entweder Wäscher mit Temperaturmessung der Rauchgase vor Eintritt und im Wäscher, oder  $H_2O$  Messung im Rauchgas am Kesselende

[0012] In der Figur 2 wird die „Müllqualität“ in einem 3-dimensionalen Diagramm mit den beiden Basisgrössen Heizwert und Wasseranteil im Müll dargestellt. Die „Müllqualität“ ist je grösser, je höher der Heizwert und je tiefer der Wasseranteil im Müll. Die schiefe Ebene in diesem Diagramm, aus welcher die Müllqualität resultiert, ist aufgrund langjähriger Versuche und Erfahrungen gewählt.

[0013] Folgende Schritte sind bei dem erfindungsgemässen Verfahren auszuführen:

1. Berechnung des Mülldurchsatzes/Müllmassenstroms  $\dot{m}_{\text{Müll}}$

**[0014]** Die Figuren 3 und 4 zeigen schematisch den ersten Verfahrensschritt in einer Müllverbrennungsanlage 10 mit einer Feuerung 40. Um eine schnelle Berechnung des Mülldurchsatzes  $\dot{m}_{\text{Müll}}$  zu ermöglichen berechnet man den Durchsatz aufgrund der Pausenzeit zwischen den Beschickungen und der Beschickungsmenge des Mülls in einem Trichter 20. Dabei geht man davon aus, dass das beschickte Volumen konstant (=Greiferinhalt 1-12) ist und sich nur das spezifische Gewicht ändert. Weiter kennt man die Anzahl Greifer, die notwendig sind, um den Müllschacht 50 zu füllen (1 mal ermitteln). In den Figur 3 und 4 sind die Greifer von 1 bis 12 durchnummeriert. Diese Art der Mülldurchsatzberechnung bedingt weiter, dass mehr oder weniger immer bei einer gleichen Marke 30 im Müllschacht 50 beschickt wird (z. B. eine Schweissnaht, die Umlenkkannte oder der Sichtbereich der Kamera). Damit ist gegeben, dass die Volumenabnahme zwischen 2 Beschickungen einem Greiferinhalt entspricht.

**[0015]** Der Ablauf für die Bestimmung des Mülldurchsatzes  $\dot{m}_{\text{Müll}}$  ist wie folgt:

- der Müllschacht 50 ist z.B. mit 8 Greifern (Nr 3-10) bis zur Marke 30 gefüllt,
- von jedem der beschickten Greifer kennt man das Gewicht (gespeichert im Prozessleitsystem)
- der Kranführer legt einen 11. Greifer in den Trichter 20
- durch den Müllnachschiebung für die Verbrennung rutscht der Müll im Müllschacht 50 langsam nach unten, bis die Marke 30 erreicht ist.
- in diesem Moment wird ein neuer Greifer beschickt (Nr. 12)
- man misst die Zeit  $t_{11-12}$  die der 11. Greifer gebraucht hat, um die Marke 30 zu erreichen (entspricht der Volumenabnahme)
- während dieser Zeit müssen die  $w_3$  kg des Greifers 3 in die Feuerung transportiert worden sein
- Durch den Müllnachschiebung für die Verbrennung rutscht der Müll im Müllschacht 50 langsam nach unten, bis die Marke 30 wiederum erreicht ist.
- ein neuer Greifer wird beschickt (Nr. 13)
- man misst die Zeit  $t_{12-13}$  die der 12. Greifer gebraucht hat, um die Marke 30 zu erreichen (entspricht der Volumenabnahme)
- während dieser Zeit müssen die  $w_4$  kg des Greifers 4 in die Feuerung transportiert worden sein

**[0016]** Der Mülldurchsatz  $\dot{m}_{\text{Müll}}$  in dieser Zeit über 2 Greifer war

$$\dot{m}_{\text{Müll}} = \frac{1 h}{(t_{11-12} + t_{12-13})} * (w_3 + w_4) \quad (1)$$

**[0017]** Um die Einflüsse der Fehler bezüglich der Annahmen (gleichmässige Beschickung, konstantes Volumen etc.) zu minimieren wird diese Berechnung über einige Greifer gemittelt (je nach Volumen des Greifers, Grösse der Anlage und Fahrweise der Kranführer).

2. Berechnung des Müllheizwertes  $H_u$

**[0018]** Ist der Mülldurchsatz  $\dot{m}_{\text{Müll}}$  bekannt, kann mit Hilfe des Kesselwirkungsgrades  $\zeta_{\text{Kessel}}$ , der Enthalpie von Speisewasser  $h_{\text{SPW}}$  und Frischdampf  $h_{\text{FD}}$  sowie der Frischdampfmenge  $\dot{m}_{\text{FD}}$  der Müllheizwert  $H_u$  berechnet werden.

**[0019]** Eingebraachte Müll-Feuerungswärmeleistung:

$$Q_B = \left( \frac{\dot{m}_{\text{FD}} * (h_{\text{FD}} - h_{\text{SPW}})}{\zeta_{\text{Kessel}}} \right) * Q_{\text{Zusatzbrenner}} \quad (2)$$

wobei gilt (aus Wasserdampf tabel): Frischdampfenthalpie (FD):

$$h_{\text{FD}} = f(T_{\text{FD}}, P_{\text{FD}}) \quad (3)$$

Speisewasserenthalpie (SPW):

$$h_{\text{SPW}} = f(T_{\text{SPW}}, P_{\text{SPW}}) \quad (4)$$

**[0020]** Eingebachte Wärmeleistung bei Einsatz eines Zusatzbrenners (z.B. Stützfeuerung für 17. BImSchV):

$$Q_{\text{Zusatzbrenner}} = \dot{m}_{\text{Öl}} \cdot Hu_{\text{Öl}} \quad (5)$$

5 **[0021]** Daraus ergibt sich für den Müllheizwert unter Einbeziehung von (1) und (2):

$$Hu_{\text{Müll}} = \frac{QB}{\dot{m}_{\text{Müll}}} \quad (6)$$

10

### 3. Bestimmung der Rauchgasfeuchte $H_2O_{\text{Rauchgas}}$

**[0022]** Die Rauchgasfeuchte dient als Grundlage für die Bestimmung des Wasseranteils im Müll. Der Wasseranteil im Müll kann mangels geeigneter Messsysteme nicht direkt detektiert werden. Je höher der Wasseranteil im Müll ist, desto mehr Wasser muss vor oder in der Feuerung verdampfen. Somit muss auch die Rauchgasfeuchte ansteigen. Dieser Vorgang ist in der Figur 5 dargestellt.

15

Die Rauchgasfeuchte  $H_2O_{\text{Rauchgas}}$  kann bei einem vorhandenen Wäscher aus der Rauchgastemperatur vor Wäscher und der Sättigungstemperatur im Wäscher berechnet werden. Die Figur 6 stellt diesen Vorgang mit den beiden Temperaturmessungen dar. Aus diesen Messung kann über ein Diagramm, welches in Figur 7 dargestellt ist, die Rauchgasfeuchte  $H_2O_{\text{Rauchgas}}$  ermittelt werden.

20

$$H_2O_{\text{Rauchgas}} = f(T_{\text{Gas\_vor\_Wäscher}}, T_{\text{Gas\_im\_Wäscher}}) \quad (7)$$

**[0023]** Dabei gilt: Je trockener das Rauchgas, desto mehr Wasser kann es aufnehmen und desto tiefer wird die Sättigungstemperatur im Wäscher sein. Ist kein Wäscher vorhanden, wird die Rauchgasfeuchte  $H_2O_{\text{Rauchgas}}$  beispielsweise mit einer auf Laserabsorption (bei der entsprechenden Frequenz) basierenden Messung direkt bestimmt.

25

### 4. Berechnung des Rauchgasvolumenstroms $\dot{V}_{\text{Rauchgas}}$

**[0024]** Über eine Massenbilanz kann unter Berücksichtigung der jeweiligen Dichten der Rauchgasvolumenstrom berechnet werden:

30

$$\dot{V}_{\text{Rauchgas\_Kesselende}} = \frac{1.293 \cdot (\dot{V}_{PL} + \dot{V}_{SL} + \dot{V}_{\text{Falschluff}}) + \dot{m}_{\text{Müll}} \cdot \frac{(100 - \text{Anteil}_{\text{Asche}})}{100}}{\rho_{\text{Rauchgas}}} \quad (8)$$

35

40

wobei gilt:

gemessene Größen:  $\dot{V}_{PL}$ ,  $\dot{V}_{SL}$

45

konstante Größen:  $\dot{V}_{\text{Falschluff}} = 5000 \text{ Nm}^3 / \text{h}$

$\text{Anteil}_{\text{Asche}} = 25\%$

50

$\rho_{\text{Rauchgas}} = 1,277 \text{ kg / Nm}^3$

berechnete Größen (aus (1)):  $\dot{m}_{\text{Müll}}$

**[0025]** Aus Abnahmeversuchen und Leistungsmessungen ist aus verschiedenen Anlagen bekannt, dass 20..30% des Müllmassenstromes  $\dot{m}_{\text{Müll}}$  als Aschemassenstrom (Flug- und Rostasche) anfällt und im Mittel ziemlich konstant ist. Die Rauchgasdichte  $\rho_{\text{Rauchgas}}$  hängt von der Zusammensetzung ab. Die Dichte  $\rho_{\text{Rauchgas}} = 1,277 \text{ kg / Nm}^3$  gilt für folgende (mittlere) Rauchgaszusammensetzung (Volumenprozent): 14,5%  $H_2O$ , 11%  $CO_2$ , 7,5%  $O_2$ , Rest  $N_2$

55

5. Berechnung der Wassermassenströme  $\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas}$

**[0026]** Der gesamte Wassermassenstrom  $\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas}$  am Kesselende berechnet sich unter Einbeziehung von (7) und (8) aus:

$$\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} = \dot{V}_{Rauchgas\_Kesselende} \cdot H_2O_{Rauchgas} \cdot \rho_{H_2O\_Dampf} \quad (9)$$

**[0027]** Das Wasser das im Rauchgas zu finden ist, hat 4 verschiedene Quellen:

- H-Verbrennung Müllfeuerung
- H-Verbrennung Zusatzfeuerung (Öl)
- $H_2O$  aus der Verbrennungsluft
- $H_2O$  aus dem Müll

daraus folgt:

$$\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} = \dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} + \dot{m}_{H_2O\_Öl} + \dot{m}_{H_2O\_Müll} + \dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} \quad (10)$$

daraus folgt:

$$\dot{m}_{H_2O\_Müll} = \dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} - \dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} - \dot{m}_{H_2O\_Öl} - \dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} \quad (11)$$

**[0028]** Aus Abnahmeversuchen und Leistungsmessungen mit einer installierten  $CO_2$ -Messung im Rauchgas wurde über eine statistische Auswertung der Messdaten ein linearer Zusammenhang

$$\dot{m}_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot QB \quad (12)$$

festgestellt. Diese Gleichung ergibt sich aus dem Diagramm, welches in der Figur 8 wiedergegeben ist. Daraus errechnet sich der C-Massenstrom aus der Verbrennung.

$$\dot{m}_C = \frac{k_{CO_2} \cdot QB}{3,667} \quad (13)$$

**[0029]** Setzt man ein konstantes C/H-Verhältnis im Müll ein, kann man über den erwähnten Zusammenhang auch den  $H_2O$ -Massenstrom aus der Müllverbrennung berechnen. Das C/H-Verhältnis ist üblicherweise 7 bis 8. Mit einem konstanten Wert von 7,5 für das C/H-Verhältnis kommt man auf folgenden Zusammenhang:

$$\dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} = k_{H_2O} \cdot QB = \frac{k_{CO_2} \cdot QB}{3,667} \cdot \frac{9,000}{7,5} \quad (14)$$

**[0030]** Für die Zusatzfeuerung mit Heizöl gilt:

$$\dot{m}_{H_2O\_Öl} = \dot{m}_{Öl} \cdot Anteil_H \cdot 9,000 \quad (15)$$

wobei  $Anteil_H$  für verschiedene Heizölsorten bekannt ist (Heizöl EL = 13%)

**[0031]** Für das über die Verbrennungsluft eingebrachte Wasser gilt:

$$\dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} = (\dot{V}_{PL} + \dot{V}_{SL} + \dot{V}_{Falschluff}) \cdot H_2O_{Verbrennungsluft} \quad (16)$$

wobei  $H_2O_{Verbrennungsluft}$  zwischen 7..12g/Nm<sup>3</sup> liegt und in diesem Bereich als konstant angenommen wird.

6. Berechnung des Wasseranteils im Müll  $H_2O_{Müll}$ 

**[0032]** Setzt man den Wassermassenstrom  $\dot{m}_{H_2O\_Müll}$  aus dem Müll (11) ins Verhältnis zum Mülldurchsatz  $\dot{m}_{Müll}$  (2), erhält man den Wasseranteil im Müll:

$$H_2O_{Müll} = \frac{\dot{m}_{H_2O\_Müll}}{\dot{m}_{Müll}} \quad (17)$$

**[0033]** Allen Berechnungen liegen Konstanten oder Annahmen zu Grunde. Sie verfälschen das Resultat bezogen auf den effektiven, physikalischen Wert. Die fiktive Grösse "Müllqualität" als Grundlage für die Feuerungseinstellung basiert auf diesen berechneten Werten. Im Sinne der Müllverbrennung spielen aber die absoluten Werte keine tragende Rolle. Es ist jedoch von entscheidender Wichtigkeit, wann sich der absolute Wert ändert. Erst eine Änderung des Wertes bewirkt über die fiktive Grösse "Müllqualität" schlussendlich eine veränderte Feuerungseinstellung. Systematische Fehler (durch unzutreffende Annahmen oder unkorrekte Konstanten), die sich hauptsächlich auf den absoluten Wert auswirken, können demzufolge keinen Einfluss auf den Feuerungsprozess nehmen. Den grössten Einfluss auf die letztendlich entscheidende Grösse "Müllqualität" hat jedoch der Müllmassenstrom  $\dot{m}_{Müll}$ . Die vorgestellte Methode ist aber so aufgebaut, dass dieser Einfluss auf elegante Art und Weise vernachlässigt werden kann:

Ein (kleiner) Fehler in der Berechnung des Müllmassenstromes  $\dot{m}_{Müll}$  wirkt sich nun folgendermassen aus:  
 Ausgangslage:  $H_u = 10000 \text{ kJ/kg}$  und Wasseranteil Müll  $H_2O_{Müll} = 30\%$  ergibt eine Müllqualität von 29,2%. Ist der berechnete Müllmassenstrom  $\dot{m}_{Müll}$  ca. 10% grösser als effektiv, werden der Heizwert  $H_u$  und der Wasseranteil im Müll  $H_2O_{Müll}$  um diese 10% kleiner sein.  
 Ausgangslage Fehler:  $H_u = 11000 \text{ kJ/kg}$  und Wasseranteil Müll  $H_2O_{Müll} = 33\%$  ergibt eine Müllqualität von 31,2% (vorher 29,2%)  
 Ändert sich der Wassermassenstrom  $\dot{m}_{Müll}$  aus dem Müll um +10%, so ergibt dies bei einem  $H_u$  von 10000 kJ/kg eine Müllqualität von ca. 24,6% (vorher 29,2%). Der Müll ist also schlechter geworden.  
 Ändert sich Heizwert des Mülls um +10%, so ergibt dies bei einem Wasseranteil im Müll von 30% eine Müllqualität von 36% (vorher 29,2%). Der Müll ist also offensichtlich besser geworden.

Die Figur 9 zeigt in einem Diagramm einige Beispiele, wie ein Fehler von Müllmassenstrom  $\dot{m}_{Müll}$ , Heizwert  $H_u$  und Wassermassenstrom  $\dot{m}_{H_2O\_müll}$  in bezug auf die Müllqualität ändert. Durch eine geeignete Wahl der Funktion

$$\text{Müllqualität} = f(H_u, H_2O_{Müll}) \quad (18)$$

lässt sich der Fehler aus der Berechnung des Müllmassenstromes  $\dot{m}_{Müll}$  gänzlich ausblenden oder zumindest klein halten.

Allen Berechnungen liegen ausschliesslich (bei Einsatz eines Wäscher in der Rauchgasreinigung)

- Temperatur-
- Druck-
- Differenzdruck (Durchfluss, Volumenstrom)-

**[0034]** Messungen zu Grunde. Diese Messungen gelten auch im Einsatzgebiet Müllverbrennung als hoch verfügbar. Somit muss auch die Verfügbarkeit der fiktiven Prozessgrösse "Müllqualität" hoch verfügbar sein.

In allen Berechnungen werden kleine Fehler gemacht, die sich entweder gegenseitig aufheben oder verstärken. Die vorliegende Methode zu Bestimmung der "Müllqualität", die als Basis für die Feuerungseinstellung dienen muss, hat sich aber unabhängig von diesen Fehlern in verschiedenen Anlagen als sehr zuverlässig herausgestellt. Die fiktive Prozessgrösse "Müllqualität" stimmt in 95% aller Betriebsfällen mit den im Feuerraum beobachteten Feuerungszuständen überein. Somit eignet sich das Signal bestens, von dessen Wert über Funktionen und Tabellen eine Feuerungseinstellung abzuleiten (Verbrennungsluftverteilung, Müllschichtdicke, Rostgeschwindigkeiten etc.).

**[0035]** Das Verfahren ist so konzipiert, dass sie in jedes handelsübliche Leitsystem eingebaut werden kann. Sie ist auf keine zusätzliche, spezielle Hard- oder Software angewiesen.

**[0036]** Nachfolgend ist beispielsweise ein Rechenbeispiel (Momentaufnahme) aus einer Müllverbrennungsanlage aufgeführt. Das Leitsystem rechnet die Werte online alle 250ms neu.

## EP 1 046 861 A1

### 1. Mülldurchsatz

**[0037]** Im Müllschacht befinden sich die Greifer 3-10 mit den Gewichten w3-w10:

5

10

15

	w3	2950kg
	w4	3120kg
	w5	2760kg
	w6	2370kg
	w7	2590kg
	w8	3280kg
08:48	w9	2880kg
09:00	w10	3010kg

20 **[0038]** Der Greifer 10 hat die Marke nach 10min erreicht und es wird ein Greifer w11 und später (w11 bei Marke) ein Greifer w12 aufgegeben:

25

09:10	w11	2810kg
09:25	w12	2930kg

zum Zeitpunkt 09:25 errechnet sich der Mülldurchsatz mit

30

$$\dot{m}_{Müll} = \frac{1h}{(t_{11-12} + t_{12-13})} * (w_3 + w_4) = 14568 \text{ kg/h} = 4.0467 \text{ kg/s}$$

### 35 2. Müllheizwert

**[0039]**

40

$h_{FD} = f(T_{FD}, P_{FD})$  aus Wasser-Dampf tabel

$T_{FD} = 400^\circ\text{C}$

$P_{FD} = 39 \text{ bar}$

$h_{FD} = 3217.4 \text{ kJ/kg}$

$h_{SPW} = f(T_{SPW}, P_{SPW})$  aus Wasser-Dampf tabel

$T_{SPW} = 130^\circ\text{C}$

45

$P_{SPW} = 56 \text{ bar}$

$h_{SPW} = 549.9 \text{ kJ/kg}$

50

$$Q_B = \left( \frac{\dot{m}_{FD} \cdot (h_{FD} - h_{SPW})}{\zeta_{Kessel}} \right) - Q_{Zusatzbrenner}$$

$\dot{m}_{FD} = 55000 \text{ kg/h} = 15.2778 \text{ kg/s}$

$\zeta_{Kessel} = 0.855$

55

$Q_{Zusatzbrenner} = 0 \text{ kW}$

$\Rightarrow Q_B = 47665 \text{ kW}$



$$Hu_{Müll} = \frac{QB}{\dot{m}_{Müll}} = 11779 \text{ kJ/kg}$$

## 5 3. Rauchgasfeuchte

[0040]

$$H_2O_{Rauchgas} = f(T_{Gas\_vor\_Wäscher}, T_{Gas\_im\_Wäscher}):$$

10

$$T_{RG \text{ vor Wäscher}} = 180 \text{ °C}$$

$$\text{Sättigungstemperatur der Rauchgase im Wäscher} = 62 \text{ °C}$$

$$\Rightarrow H_2O_{Rauchgas} = 15.60 \text{ Vol\%}$$

## 15 4. Rauchgasvolumenstrom

[0041]

$$V_{PL} = 56500 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

20

$$V_{SL} = 11600 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$V_{Falschluf} = 5000 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{Müll} = 14568 \text{ kg/h (siehe oben)}$$

$$\text{Anteil}_{Asche} = 25\%$$

$$\rho_{Rauchgas} = 1.277 \text{ kg/Nm}^3$$

25

$$\dot{V}_{Rauchgas\_Kesselende} = \frac{1.293 \cdot (\dot{V}_{PL} + \dot{V}_{SL} + \dot{V}_{Falschluf}) + \dot{m}_{Müll} \cdot \frac{(100 - \text{Anteil}_{Asche})}{100}}{\rho_{Rauchgas}} = 82572 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

30

## 35 5. Wassermassenströme

[0042]

$$V_{Rauchgas \text{ Volumenstrom}} = 82572 \text{ Nm}^3/\text{h (siehe oben)}$$

40

$$H_2O_{Rauchgas} = 15.60 \text{ Vol\%}$$

$$\rho_{Rauchgas} = 0.80 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} = \dot{V}_{Rauchgas\_Kesselende} \cdot H_2O_{Rauchgas} \cdot \rho_{H_2O\_Dampf} = 10305 \text{ kg/h}$$

45

$$\dot{m}_{H_2O\_Oel} = 0 \text{ kg/h}$$

$$H_2O_{Verbrennungsluft} = 10 \text{ g/Nm}^3$$

$$\dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} = (\dot{V}_{PL} + \dot{V}_{SL} + \dot{V}_{Falschluf}) \cdot H_2O_{Verbrennungsluft} = 686 \text{ kg/h}$$

50

$$k_{CO_2} = 0.3770 \text{ kg/kWh QB} = 47655 \text{ kW (siehe oben)}$$

$$\dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} = k_{H_2O} \cdot QB = \frac{k_{CO_2} \cdot QB}{\frac{3,667}{7,5}} \cdot 9,000 = 5880 \text{ kg/h}$$

55

## EP 1 046 861 A1

$$\Rightarrow \dot{m}_{H_2O\_Müll} = \dot{m}_{H_2O\_Rohgas} - \dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} - \dot{m}_{H_2O\_Oel} - \dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} = 3739 \text{ kg/h}$$

### 6. Wasseranteil im Müll

[0043]

$$\dot{m}_{Müll} = 14568 \text{ kg/h (siehe oben)}$$

$$\dot{m}_{H_2O\_Müll} = 3739 \text{ kg/h}$$

$$\Rightarrow H_2O_{Müll} = \frac{\dot{m}_{H_2O\_Müll}}{\dot{m}_{Müll}} = 25.66 \%$$

### 7. Müllqualität

[0044]

$$H_2O_{Müll} = 25.66\%$$

$$Hu_{Müll} = 11779 \text{ kJ/kg}$$

	Wasseranteil im Müll						
Müll Heizwert	15	20	25	30	35	40	45
6000	21	14	8	3	0	0	0
8000	33	25	18	12	7	3	0
10000	52	44	36	28	20	11	2
12000	75	67	59	51	41	28	10
14000	93	86	79	70	58	41	20
16000	100	94	87	79	67	52	30
$Q_{Müll} = 55.40 \%$							

### BEZUGSZEICHENLISTE

[0045]

1-12	Greiferinhalt
20	Trichter
30	Marke
40	Feuerung
50	Müllschacht
60	Müllverbrennungsanlage
$h_{FD}$	Enthalpie des Frischdampfes
$h_{SPW}$	Enthalpie des Speisewassers
$H_2O$	Wasser
$Hu$	Heizwert
$k$	Proportionalitätsfaktor
$\dot{m}$	Massenstrom
$\dot{m}_{Müll}$	Massenstrom des Mülls
$P_{FD}$	Druck des Frischdampfes
$P_{SPW}$	Druck des Speisewassers
$PL$	Primärluft

	Q	Wärmeleistung
	QB	Wärmeleistung der Feuerung
	SL	Sekundärluft
	T	Temperatur
5	T <sub>FD</sub>	Temperatur des Frischdampfs
	T <sub>SPW</sub>	Temperatur des Speisewassers
	t	Zeit
	V	Volumen
	$\dot{V}_{\text{Rauchgas}}$	Volumenstrom des Rauchgases
10	w <sub>3</sub>	Masse des 3. Greifers
	w <sub>4</sub>	Masse des 4. Greifers
	ρ	Dichte
	ζ <sub>Kessel</sub>	Wirkungsgrad des Kessels

## 15 Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Einstellung der Feuerung einer Müllverbrennungsanlage bei welchem der Heizwert des Mülls (Hu) kontinuierlich aus der aktuell im Feuerungsraum entbundenen Wärme (QB) und dem eingetragenen Müllmassenstrom ( $\dot{m}_{\text{Müll}}$ ) bestimmt wird,  
 20 dadurch gekennzeichnet, dass  
 zur Einstellung der Feuerungsgrößen, wie Verbrennungsluftverteilung, Müllschichtdicke und Rostgeschwindigkeit, eine fiktive Prozessgröße „Müllqualität“ aus dem Heizwert des Mülls (Hu) und dem Wassergehalt des Mülls ( $H_2O_{\text{Müll}}$ ) bestimmt wird, wobei der Wassergehalt des Mülls ( $H_2O_{\text{Müll}}$ ) nach der Gleichung

$$25 \quad H_2O_{\text{Müll}} = \frac{\dot{m}_{H_2O\_Müll}}{\dot{m}_{\text{Müll}}}$$

ermittelt wird,  
 30 mit  $\dot{m}_{H_2O\_Müll}$  Wassermassenstrom des Mülls,  
 und wobei sich der Wassermassenstrom des Mülls  $\dot{m}_{H_2O\_Müll}$  aus

$$\dot{m}_{H_2O\_Müll} = \dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} - \dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} - \dot{m}_{H_2O\_Öl} - \dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft}$$

35 zusammensetzt,  
 mit

$\dot{m}_{H_2O\_Rauchgas}$  Wassermassenstrom im Rauchgas  
 $\dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung}$  bei Verbrennung entstandener Wassermassenstrom  
 40  $\dot{m}_{H_2O\_Öl}$  durch Öl-Zusatzfeuerung entstandener Wassermassenstrom  
 $\dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft}$  in der zugeführten Verbrennungsluft enthaltener

Wassermassenstrom, wobei gilt:

$$45 \quad \dot{m}_{H_2O\_Rauchgas} = \dot{V}_{\text{Rauchgas\_Kesselende}} \cdot H_2O_{\text{Rauchgas}} \cdot \rho_{H_2O\_Dampf}$$

mit

$\dot{V}_{\text{Rauchgas\_Kesselende}}$  Volumenstrom des Rauchgases am Kesselende  
 50  $H_2O_{\text{Rauchgas}}$  Feuchte im Rauchgas  
 $\rho_{H_2O\_Dampf}$  Dichte des Wassers in Dampfform

$$\dot{m}_{H_2O\_Müllverbrennung} = k_{H_2O} \cdot QB$$

55 mit

$k_{H_2O}$  Proportionalitätsfaktor  
 QB bei der Feuerung entbundene Wärme

$$\dot{m}_{H_2O\_Öl} = \dot{m}_{Öl} \cdot \text{Anteil}_H \cdot 9,000$$

mit

5  $\dot{m}_{Öl}$  Massenstrom des Öls  
Anteil<sub>H</sub> Anteil des Wasserstoffs im Öl

$$\dot{m}_{H_2O\_Verbrennungsluft} = (\dot{V}_{PL} + \dot{V}_{SL} + \dot{V}_{Falschluff}) \cdot H_2O_{Verbrennungsluft}$$

10 mit

$\dot{V}_{PL}$  Volumenstrom der Primärluft  
 $\dot{V}_{SL}$  Volumenstrom der Sekundär  
 $\dot{V}_{Falschluff}$  Volumenstrom der Falschluff  
15  $H_2O_{Verbrennungsluft}$  In der der Verbrennung zugeführten Luft enthaltenes Wasser

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Feuchte im Rauchgas ( $H_2O_{Rauchgas}$ ) am Ende des Feuerungsraums direkt gemessen wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Feuchte im Rauchgas ( $H_2O_{Rauchgas}$ ) über die Temperatur vor dem Eintritt des Rauchgases in einen der Müll-  
verbrennungsanlage nachgeschalteten Rauchgaswäscher und über die Sättigungstemperatur der Rauchgase im  
25 Rauchgaswäscher bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Proportionalitätskonstante  $k_{H_2O}$  über eine statistische Beziehung Kohlendioxidmassenstrom  
30  $\dot{m}_{CO_2} = k_{CO_2} \cdot QB$  und das Kohlenstoff zu Wasserstoff-Verhältnis (C/H) im Müll bestimmt wird, wobei  $k_{CO_2}$  eine  
Proportionalitätskonstante zwischen der entbundenen Wärme (QB) und des Kohlendioxidmassenstroms ( $\dot{m}_{CO_2}$ ) ist.

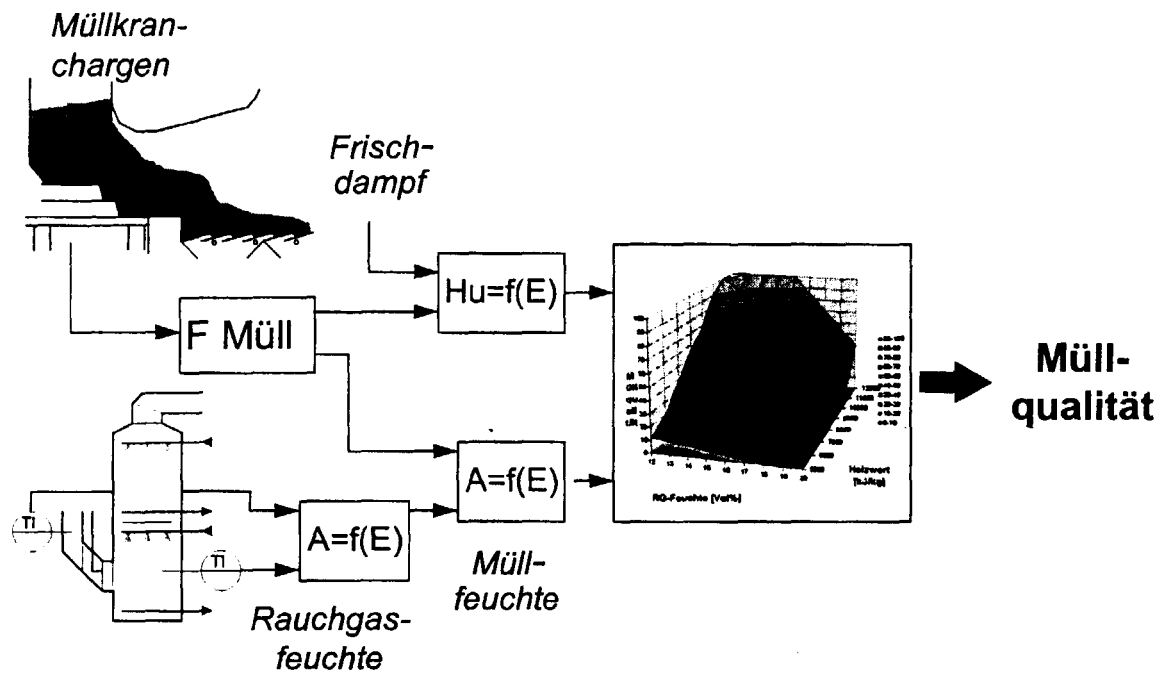
35

40

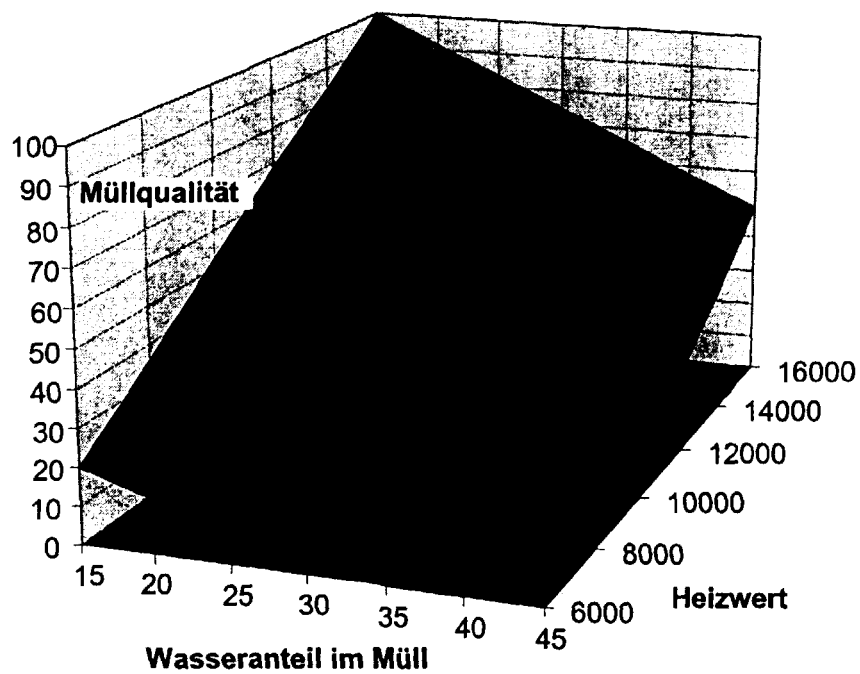
45

50

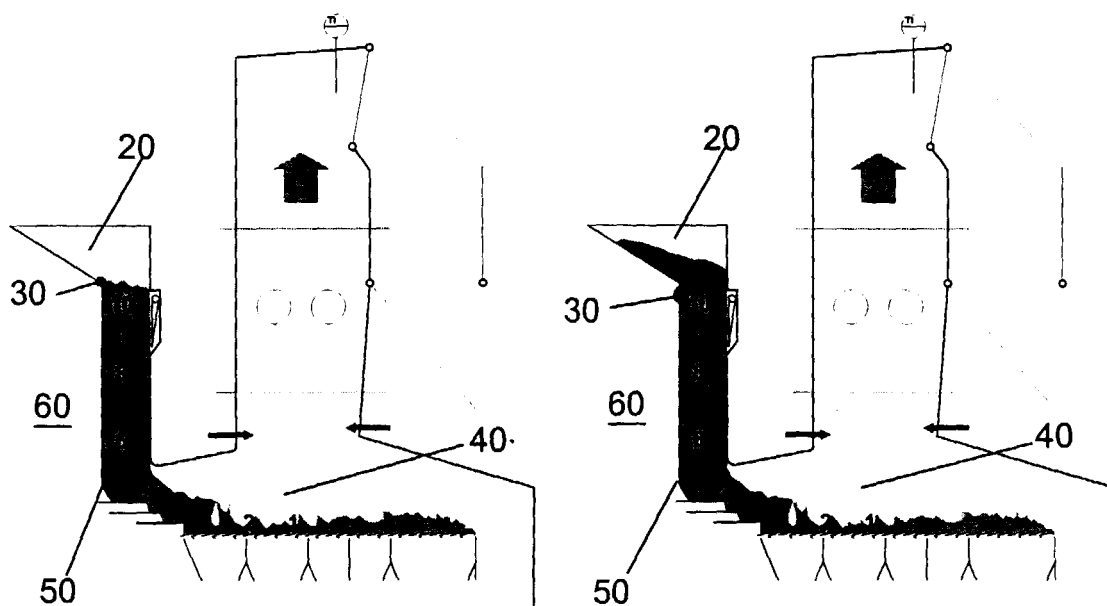
55



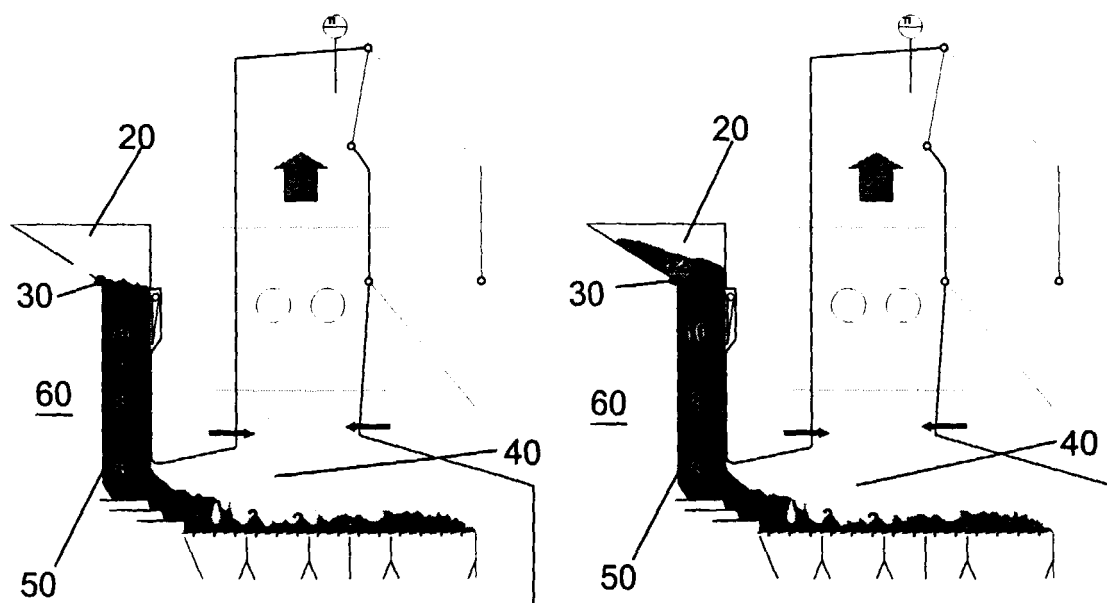
Figur 1



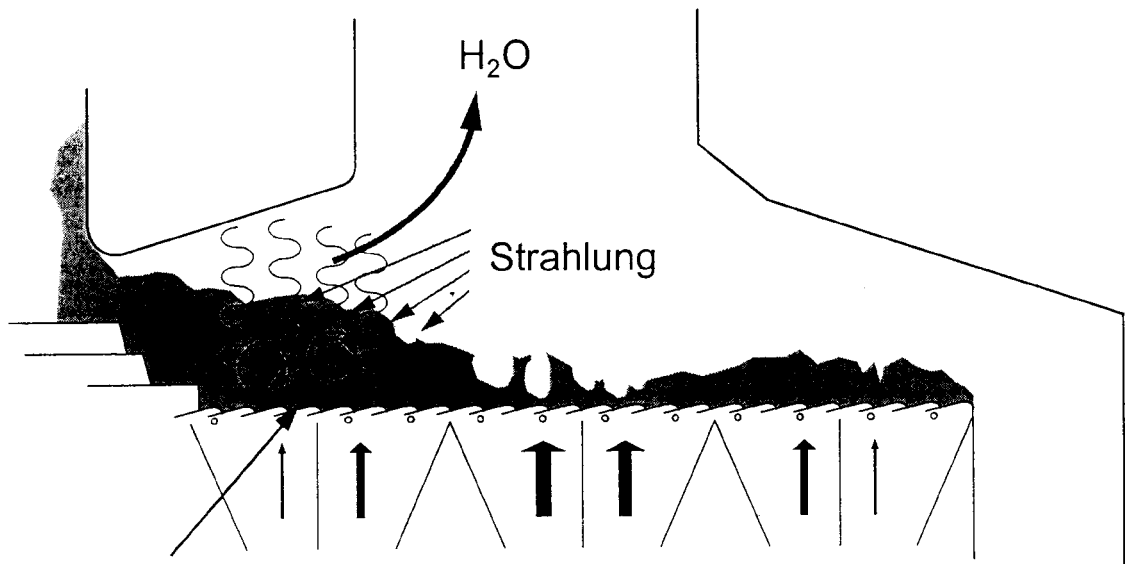
Figur 2



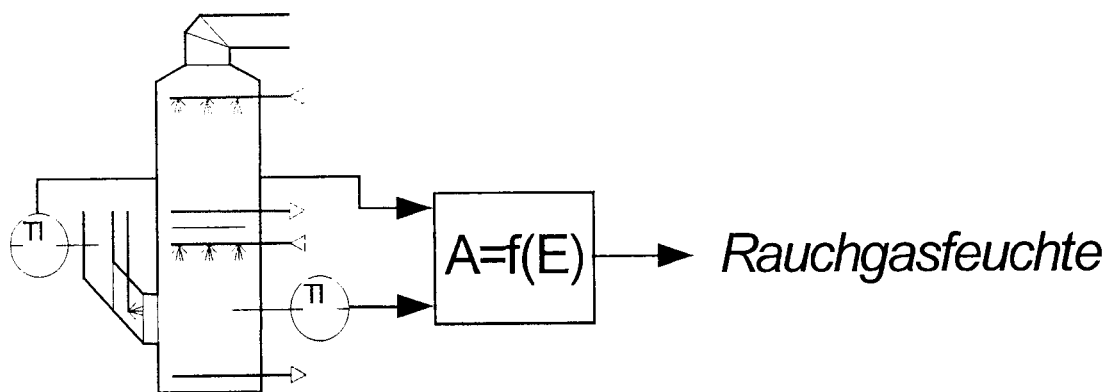
Figur 3



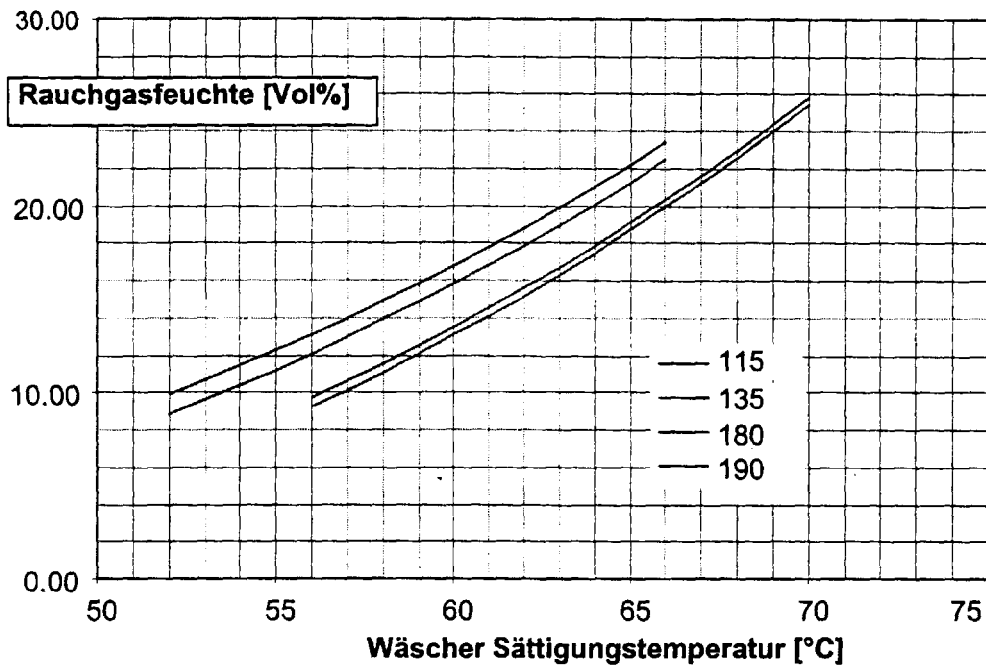
Figur 4



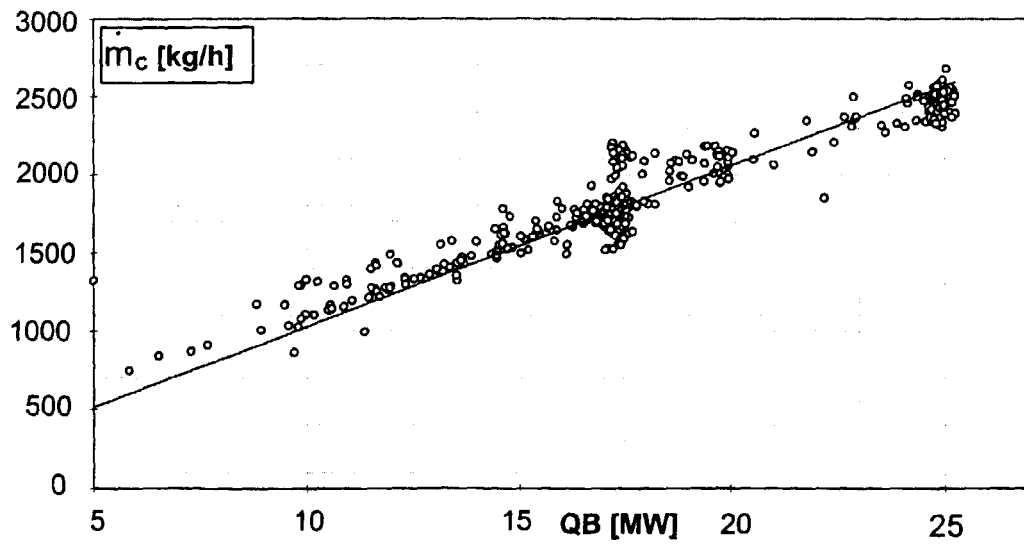
Figur 5



Figur 6

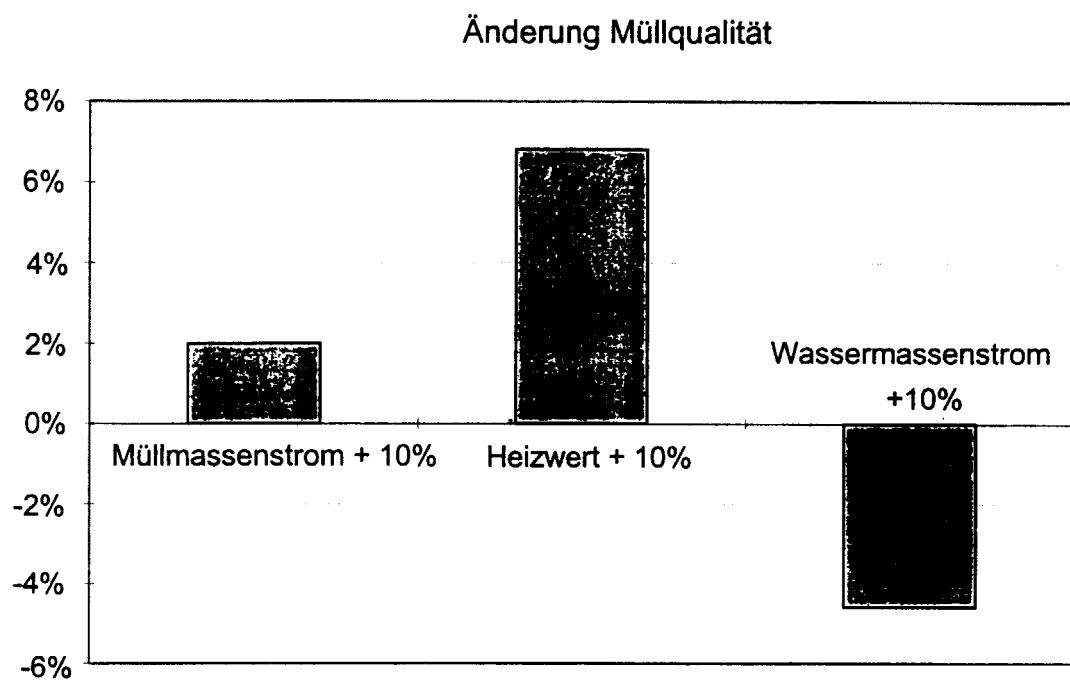


Figur 7



Figur 8





Figur 9



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 00 10 5630

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	EP 0 766 042 A (ANSALDO UN AZIENDA FINMECC) 2. April 1997 (1997-04-02) * Spalte 1, Absatz 1 * * Spalte 3, Zeile 47 - Spalte 4, Zeile 2 * * Spalte 8, Zeile 30 - Zeile 39 * ---	1,2	F23G5/50
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 09, 30. Juli 1999 (1999-07-30) & JP 11 094227 A (SUMITOMO HEAVY IND LTD), 9. April 1999 (1999-04-09) * Zusammenfassung *	1,2	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 006, no. 167 (M-153), 31. August 1982 (1982-08-31) & JP 57 082609 A (KUBOTA LTD), 24. Mai 1982 (1982-05-24) * Zusammenfassung *	1	
D,A	EP 0 317 731 A (MINDERMAN KURT HENRY ;WINTRICH FRANZ (DE)) 31. Mai 1989 (1989-05-31) * Spalte 2, Zeile 7 - Zeile 43 *	1,2	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	US 4 519 323 A (FUJIWARA KOJI ET AL) 28. Mai 1985 (1985-05-28) * Spalte 1, Zeile 41 - Zeile 51 * * Spalte 4, Zeile 41 - Zeile 48 *	1	F23G
D,A	DE 44 45 954 A (ABB MANAGEMENT AG) 27. Juni 1996 (1996-06-27) * das ganze Dokument *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>DEN HAAG</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>30. Juni 2000</b>	
		Prüfer <b>Mougey, M</b>	
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 Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

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

EP 00 10 5630

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.

30-06-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0766042 A	02-04-1997	US 5832842 A	10-11-1998
JP 11094227 A	09-04-1999	KEINE	
JP 57082609 A	24-05-1982	JP 1393549 C	11-08-1987
		JP 60038610 B	02-09-1985
EP 0317731 A	31-05-1989	AT 76957 T	15-06-1992
		DE 3834368 A	03-05-1989
		DE 3871729 A	09-07-1992
		IN 171926 A	06-02-1993
		PT 88803 A, B	31-07-1989
		US 4895082 A	23-01-1990
		US 4984524 A	15-01-1991
US 4519323 A	28-05-1985	JP 59183210 A	18-10-1984
DE 4445954 A	27-06-1996	AT 185187 T	15-10-1999
		DE 59506948 D	04-11-1999
		EP 0718553 A	26-06-1996
		ES 2139873 T	16-02-2000
		JP 8219428 A	30-08-1996
		NO 955178 A	24-06-1996

EPC FORM P0461

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