



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 026 434 B3** 2007.12.13

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 026 434.7**

(22) Anmeldetag: **07.06.2006**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.12.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F23G 5/00** (2006.01)

**F23G 5/50** (2006.01)

**B03B 9/04** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133  
Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:

**Gerig, Andreas, 76185 Karlsruhe, DE; Häfele,  
Gerhard, 75053 Gondelsheim, DE; Hunsinger,  
Hans, 76356 Weingarten, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 199 61 384 A1**

**DE 102 13 788 A1**

**DE 39 15 992 A1**

**DE 14 51 505 A**

**CH 4 17 833**

**EP 11 97 706 A2**

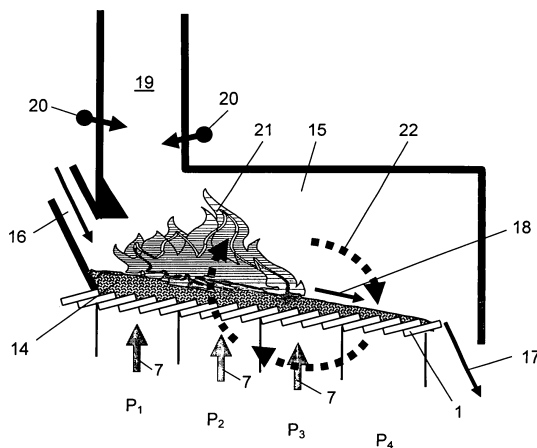
**EP 04 98 014 A1**

**WO 93/17 280 A1**

**WO 01/65 178 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verbesserung der Schlackequalität von Rostfeuerungsanlagen**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Verbesserung der Schlackequalität von Rostfeuerungsanlagen und Vorrichtung dazu, umfassend ein Brennbett mit mehreren hintereinander angeordneten Festbettausbrandzonen auf einem Verbrennungsrost und einer darüber angeordneten Brennkammer. Die Aufgabe der Erfindung liegt darin, ein einfaches und zuverlässig kontrollierbares Verfahren mit einer Vorrichtung zur Verbesserung der Schlackequalität bei der Abfallverbrennung, beispielsweise Rostfeuerungen vorzuschlagen, bei dem eine gute Schlackequalität bereits während der Festbettverbrennung auf dem Rost erreicht wird. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die ersten Festbettausbrandzonen von einem sauerstoffhaltigen Primärgas durchströmt und mindestens eine den ersten Festbettausbrandzonen nachfolgenden Festbettausbrandzone mit einem heißem Brenngas aus der Brennkammer durchströmt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verbesserung der Schlackequalität von Rostfeuerungsanlagen. Rostfeuerungsanlagen sind z.B. Abfallverbrennungsanlagen.

**[0002]** Der Abbrand fester Brennstoffe wie Abfall, Biomasse oder Kohle auf Verbrennungsrosten kann idealisiert in die nacheinander ablaufenden Teilprozesse Trocknung, Entgasung der flüchtigen Bestandteile, Abbrand des Restkohlenstoffes sowie Sinterung der Rostasche gegliedert werden. In realen Rostfeuerungsanlagen ist jedoch die Vermischung des Brennstoffs insbesondere bei Vorschubrosten sehr schlecht, wodurch sich die Teilprozesse über der Rostlänge überlagern.

**[0003]** Der brennbare Brennstoffanteil konzentriert sich überwiegend in den flüchtigen Bestandteilen, die nach der Trocknung freigesetzt werden. Diese bei der Entgasung freigesetzten heizwertreichen Gase verbrennen teilweise, abhängig vom lokal zur Verfügung stehenden Sauerstoff, überwiegend oberhalb des Brennbettes wodurch die örtliche Abgastemperatur stark ansteigt. Der im Brennbett verbleibende fixe Kohlenstoff beträgt nur einen kleinen Anteil des gesamten Kohlenstoffinventars, benötigt aber wesentlich mehr Zeit zum Ausbrand. Daher nimmt der Bereich für den Restkohlenstoffabbrand einen überproportional großen Bereich des Rostes ein. Eine Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit des fixen Kohlenstoffes durch Erhöhung der Temperatur im Bereich der Schlackeausbrandzone ermöglicht generell neben einer Verbesserung der Schlackequalität auch eine Steigerung des Brennstoffdurchsatzes. Beide Effekte haben erhebliche ökonomische Bedeutung.

**[0004]** Die Schlacke wird in der Regel als gebrochenes Granulat als Bauzuschlagstoff verwendet. Ziel einer Verbesserung der Schlackequalität liegt deswegen in einem möglichst vollständigen Kohlenstoffausbrand, Sintern und/oder Aufschmelzen der Verbrennungsrückstände entweder in einer noch im Brennbett oder der Verbrennung nachgeschalteten thermischen Nachbehandlung, aber auch in der Erzielung eines geringen Schadstoffgehalts (z.B. PCDD/F).

**[0005]** Aus der DE 199 61 384 A1 ist ein Verfahren zur thermischen Behandlung von Rostasche aus Müllverbrennungsanlagen bekannt, bei dem die Rostasche im Anschluss an die Verbrennung in ein Drehrohr geleitet und dort mittels eines weiteren Brennstoffs unter Sauerstoffzufuhr thermisch behandelt wird.

**[0006]** Die DE 102 13 788 A1 offenbart dagegen ein Verfahren zur Beeinflussung von Verbrennungsrückständen aus einer Abfallverbrennungsanlage ohne einen nachgeschalteten Verfahrensschritt in einer se-

paraten Vorrichtung. Der Sinter- und/oder Schmelzvorgang der Schlacke erfolgt bei diesem Verfahren noch im Brennbett der Hauptverbrennungszone, wobei die nicht gesinterten oder geschmolzenen Verbrennungsrückstände nach Durchlauf des Brennbettes erneut in den Verbrennungsvorgang rezykliert werden.

**[0007]** In der EP 1 197 706 A2 wird ein Verfahren zur Verbesserung der Schlackequalität vorgeschlagen, wobei ein Feuerungsrost am Ende des Hauptverbrennungsvorganges, wo noch brennbare Anteile neben sich bereits bildenden Schlacketeilen vorhanden sind, die Abbrandgeschwindigkeit durch Variation der Primärluftmenge in aufeinander folgenden Zeitabschnitten geändert wird, wobei die reduzierte Primärluftmenge 50 bis 70% der normalen Primärluftmenge beträgt.

**[0008]** Außerdem offenbart die EP 0 498 014 A1 ein Verfahren zur Verbrennungsluftzuführung bei Rostfeuerungen, wobei das Abgas unmittelbar oberhalb des Brennstoffes im Bereich eines hohen unverbrauchten Primärluftanteiles abgesaugt und der Primärverbrennungsluft wieder zugeführt wird, deren Menge entsprechend der beizumischenden Abgasmenge vermindert wird.

**[0009]** Jeder zusätzliche Verfahrensschritt, auch wenn er eine Rezyklierung von Bestandteilen ohne eine zusätzliche Prozesskammer beinhaltet, bedeutet jedoch einen erheblichen Aufwand, der sich direkt in die Wirtschaftlichkeit einer Verbrennungsanlage einrechnet. Dies gilt insbesondere bei einer zusätzlichen Schlackebehandlung mit einer zusätzlichen teuren Sauerstoffanreicherung >21 Vol.%. Hohe Temperaturen sind aber Grundvoraussetzung für eine Schlackeoptimierung. Zwar begünstigt eine Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft hohe Temperaturniveaus, aber im Wesentlichen nur im Gasraum oberhalb der Festbettausbrandzone und nicht innerhalb des gesamten Brennbettes, was für die Qualität der Schlacke entscheidend ist.

**[0010]** Ausgehend davon liegt die Aufgabe der Erfindung darin, ein einfaches und zuverlässig kontrollierbares Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verbesserung der Schlackequalität bei der Abfallverbrennung, beispielsweise Rostfeuerungen vorzuschlagen, bei dem eine gute Schlackequalität bereits während der Festbettverbrennung auf dem Rost erreicht wird. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, dass durch das Verfahren keine Bildung von anderen Schadstoffen wie z.B. NO<sub>x</sub> und/oder keine signifikante Minderung bei der energetischen Nutzung des Wärmeinhaltes der Verbrennungsabgase eintritt.

**[0011]** Die Aufgabe wird mit einem Verfahren und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des ersten bzw. des zehnten Patentanspruchs gelöst. Vorteilhafte

Ausgestaltungen des Verfahrens finden sich in den Unteransprüchen wieder.

**[0012]** Die Lösung der Aufgabe basiert auf einem Verbrennungsprozess mit einem Brennbett mit mehreren hintereinander angeordneten Festbettausbrandzonen (auch als Brennbettzonen, Brennbettbereiche, Rostbereiche oder Rostzonen bekannt), die von einem zu verbrennenden Brennstoff während der Verbrennung nacheinander durchlaufen werden. Üblicherweise sind derartige Verbrennungsprozesse zweistufige Prozesse, d.h. es wird ein sauerstoffhaltiges Primärgas der Verbrennung in die Festbettausbrandzone und ein ebenfalls sauerstoffhaltiges Sekundärgas zur Nachverbrennung der beim Feststoffausbrand gebildeten brennstoffreichen Abgase in die der Festbettausbrandzone nachgeschalteten Abgasausbrandzone eingegeben.

**[0013]** Ein wesentliches Merkmal der Lösung umfasst die gezielte Aufheizung des Brennbetts (d.h. des festen Brennstoffs mit der sich ggf. bereits gebildeten Schlacke und Asche) auf dem Verbrennungsrost im Bereich mindestens einer Festbettausbrandzone durch Rezyklieren von Verbrennungsgasen aus der Brennkammer über mindestens einer dieser Festbettausbrandzonen. Heiße Brenngasteilströme werden direkt aus der Brennkammer über mindestens einer Festbettausbrandzone abgezweigt und durch das Brennbett mindestens einer nachfolgenden, vorzugsweise der letzten Festbettausbrandzone hindurchgeleitet. Dabei wird die durch eine Verbrennung in der Brennkammer hervorgerufene hohe Temperatur des Brenngases in vorteilhafter Weise für eine zusätzliche Temperaturerhöhung im dem Brennbett in den vorgenannten nachfolgenden, d.h. vorzugsweise mindestens einer der letzten Festbettausbrandzonen ausgenutzt.

**[0014]** Wie eingangs genannt, durchläuft ein Brennstoff während einer Verbrennung auf einer Rostfeuerungsanlage sämtliche Festbettausbrandzonen nacheinander, wobei es mit dem Durchlauf in den vorderen (ersten) Festbettausbrandzonen zu einem zunehmenden Abbrand der brennbaren Anteile des Brennstoffs unter Bildung von Asche und Schlackebestandteilen kommt. In den diesen nachfolgenden, vorzugsweise letzten Festbettausbrandzonen kumulieren dann diese Schlackebestandteile, wobei sich dort aufgrund des bereits weitgehend erfolgten Ausbrandes des Feststoffes und durch das in dieser Rostzone zugeführte kalte Primärgas grundsätzlich ein niedriges Temperaturniveau einstellt. Durch die vorgenannte Umlenkung von heißem Verbrennungsgas aus der vorgenannten Verbrennung durch die nachfolgenden, vorzugsweise einer der letzten Festbettausbrandzonen werden dort die Schlackebestandteile gezielt erhitzt und so eine Sinterung zu einer Schlacke mit verbesserter Qualität ermöglicht. Die Schlacke verlässt so bereits als gesintertes End-

produkt mit verbesserter Qualität die Festbettausbrandzone. Thermische Nachbehandlungen sind nicht mehr zwingend erforderlich. Auch ist eine Zuführung von teurem Sauerstoff für eine Sinterung der Schlacke nicht mehr notwendig.

**[0015]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigt.

**[0016]** [Fig. 1](#) eine prinzipielle Darstellung eines Brennbetts einer Rostfeuerungsanlage mit beispielhaft vier Festbettausbrandzonen,

**[0017]** [Fig. 2](#) typische verschiedene an einer Müllverbrennungsanlage (TAMARA) gemessene axiale Temperaturverläufe sowie die Sauerstoffkonzentration oberhalb des Brennbetts und den Kohlenstoffabbrand, aufgetragen über die Festbettausbrandzonen gemäß [Fig. 1](#),

**[0018]** [Fig. 3](#) eine prinzipielle Darstellung einer zweistufigen Verbrennungsanlage mit einer schematisch dargestellten Umlenkung von Verbrennungsgasanteilen durch die letzte Festbettausbrandzone,

**[0019]** [Fig. 4a](#) und b die Rosttemperaturen und Rauchgastemperaturen von verschiedenen Versuchen, aufgetragen über die Festbettausbrandzonen,

**[0020]** [Fig. 5a](#) und b die Konzentrationen an unverbranntem Restkohlenstoff und Chlorid in der Schlacke für die in [Fig. 4a](#) und b dargestellten Versuche sowie

**[0021]** [Fig. 6](#) die gemessenen Toxizitätsäquivalente (TEq) der im Rahmen der Versuche gemäß [Fig. 4](#) und 5 gewonnenen Schlacke.

**[0022]** Das Brennbett einer herkömmlichen Rostfeuerungsanlage, wie es in [Fig. 1](#) dargestellt ist, umfasst einen Verbrennungsrost **1** mit vier Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$ , die von einem Festbrennstoff (Brennbett **14**) während einer Verbrennung nacheinander durchlaufen werden. Dabei durchläuft der Abbrand des Festbrennstoffs auf dem Verbrennungsrost idealisiert betrachtet die folgenden Teilprozesse: Trocknung **2**, Entgasung **3** der flüchtigen Müllbestandteile, Abbrand **4** des Restkohlenstoffes und Sinterung der Rostasche **5**. In realen Anlagen ist die Vermischung insbesondere bei Vorschubrosten sehr schlecht. Daher überlagern sich diese Teilprozesse über der Rostlänge **6**. Der Abbrand des Feststoffes erfolgt im Wesentlichen von der Brennbettoberfläche in Richtung Verbrennungsrost. Diese Charakteristik verursacht ein ausgeprägtes vertikales Temperaturprofil über der Brennbettdicke. Üblicherweise erfolgt während einer Verbrennung von unten durch alle Festbettausbrandzonen des Verbrennungsrosts **1** eine sauerstoffhaltige Primärgaszufuhr **7**.

**[0023]** Der brennbare Anteil des Festbrennstoffs konzentriert sich überwiegend bei den flüchtigen Bestandteilen, die bei der Entgasung **3** nach der Trocknung **2** freigesetzt werden. Diese bei der Entgasung freigesetzten heizwertreichen Gase verbrennen teilweise, abhängig vom dem lokal über die Primärgaszufuhr zur Verfügung gestellten Sauerstoff, zum überwiegenden Teil oberhalb des Brennbettes, wodurch die örtliche Abgastemperatur stark ansteigt.

**[0024]** Der im Brennbett nach der Entgasung verbleibende fixe Kohlenstoff, der sog. Restkohlenstoff umfasst nur einen sehr geringen Anteil des gesamten Kohlenstoffinventars, benötigt aber wesentlich mehr Zeit für einen Ausbrand. Daher nimmt der Bereich für den Restkohlenstoffabbrand einen überproportional großen Bereich des Verbrennungsrosts ein. Eine Erhöhung der Abbrandgeschwindigkeit des fixen Kohlenstoffs durch Temperaturerhöhung ermöglicht generell neben einer Verbesserung der Schlackequalität (niedrige Cl-, TOC- und PCDD/F-Konzentrationen) auch eine Steigerung des Brennstoffdurchsatzes.

**[0025]** Die Kinetik der Verbrennung des Restkohlenstoffes hängt insbesondere von der lokalen Temperatur im Brennbett und vom Sauerstoffangebot in der letzten Festbettausbrandzone ab. Dieser Sachverhalt zeigt sich bei der unterschiedlichen Lage der Temperaturmaxima im Verbrennungsrost verglichen mit dem Temperaturprofil im Abgas oberhalb des Brennbettes.

**[0026]** [Fig. 2](#) zeigt typische an einer Müllverbrennungsanlage (TAMARA im Forschungszentrum Karlsruhe) gemessene axiale Temperaturverläufe **8** in °C sowie ermittelte Konzentrationen **9** in % für den Kohlenstoffabbrand **12** des Brennbetts sowie in Vol.% für die Sauerstoffkonzentration **13** oberhalb des Brennbetts, aufgetragen über die vier Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$  einer Brennkammer. Der dabei verbrannte Festbrennstoff setzte sich aus 29% Wasser, 39% flüchtige Bestandteile, 5% Restkohlenstoff und 27% Asche zusammen und repräsentiert damit eine typische Zusammensetzung von Hausmüll. Zwischen den Temperaturverläufen oberhalb des Brennbetts **10** und direkt an der Rostoberfläche **11** (untere Grenze der Brennstoff bzw. Ascheschicht mittels Thermoelementen gemessen) zeigt sich ein teilweise erheblicher Temperaturgradient zwischen den Werten. Insbesondere in den ersten beiden Festbettausbrandzonen  $P_1$  und  $P_2$  zeigte sich bereits eine hohe Abgastemperatur, während die Temperatur im Brennbett noch infolge von der anfänglichen Trocknung **2** und Entgasung **3** des Festbrennstoffs niedrig gehalten wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Brennstoff und Schlacke auf dem Verbrennungsrost nur eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen und insbesondere bei Vorschubrosten (vgl. [Fig. 1](#)) über die Brennstoffschichtdicke

(Brennbettdicke) nur unzureichend vertikal vermischt werden. Die Strahlungswärme aus der Brennkammer auf den Brennstoff (Brennbett) wirkt nur auf die obere Schicht des Brennbettes, sodass diese für eine Sinterung über die gesamte Dicke der Schlackeschicht auf dem Verbrennungsrost zwecks dessen Optimierung nur sehr begrenzt zur Verfügung steht.

**[0027]** Ferner zeigt [Fig. 2](#) die Abbrandkurve des gesamten Kohlenstoffgehaltes **12** im Brennbett sowie die Sauerstoffkonzentration **13** oberhalb des Brennbetts. Die Hauptverbrennungszone (Festbettausbrandzone  $P_2$ ) kennzeichnet sich durch eine hohe lokale Kohlenstoffabbrandrate, folglich auch durch einen großen Sauerstoffverbrauch, was sich im  $O_2$ -Minimum der Sauerstoffkonzentration **13** zeigt. Die Freisetzung an den heizwertreichen flüchtigen Bestandteilen ist hier so groß, dass der lokal über die Primärluft zur Verfügung stehende Sauerstoff nicht ausreicht um eine vollständige Oxidation unmittelbar im und oberhalb des Brennbettes zu gewährleisten. Der vollständige Gasausbrand erfolgt dann in einer nachgeschalteten Abgasausbrandzone (vgl. **19** in [Fig. 3](#)) unter Sekundärgaseindüsung (vgl. **20** in [Fig. 3](#)).

**[0028]** Über die gesamte Rostlänge, insbesondere aber nach der vorgenannten Hauptverbrennungszone des Brennbettes fällt die Kohlenstoffkonzentration **12** im Brennbett kontinuierlich ab und nähert sich asymptotisch gegen 0. In realen Anlagen werden üblicherweise TOC-Gehalte (TOC: gesamter organischer Kohlenstoffgehalt) von ca. 1% erreicht. Ab der Festbettausbrandzone  $P_3$  erfolgt dabei im Wesentlichen der Ausbrand des fixen Kohlenstoffes (Restkohlenstoff). In der Festbettausbrandzone  $P_4$  sinken dabei die gemessenen Temperaturen signifikant, was darauf zurückzuführen ist, dass der zugeführte Primärluftüberschuss in dieser Festbettausbrandzone im Vergleich zum Restkohlenstoffgehalt im Brennbett zu einem hohen überstöchiometrischen Verhältnis führt. Die Sauerstoffkonzentration **13** steigt auf ca. 18%.

**[0029]** Dieser Überschuss an Primärgas in der Festbettausbrandzone  $P_4$  bewirkt eine Kühlung des Brennbetts und vermindert damit die Geschwindigkeit des Abbrandes des fixen Kohlenstoffes, und verhindert dadurch gerade in diesem Bereich eine gute Sinterung der Asche- und Schlackebestandteile und ist damit unerwünscht. Eine Drosselung der Primärgaszufuhr in dieser Festbettausbrandzone ist nur begrenzt möglich, da durch die Inhomogenität, insbesondere die inhomogene Verteilung der Porosität der Schlacke-Ascheschicht die lokalen Strömungswiderstände nicht konstant über der Brennbettfläche verteilt sind und somit eine Strahlenbildung begünstigt wird. Das Primärgas sucht den Weg des geringsten Widerstandes mit der Folge einer inhomogenen Durchströmung der Asche-Schlackeschicht (Brenn-

bett). Ein guter homogener Kohlenstoffausbrand der gesamten Schlacke/Aschebereiche erfordert aber eine möglichst homogene Durchströmung der Asche-Schlackeschicht mit sauerstoffhaltigem Gas bei hoher Temperatur.

**[0030]** [Fig. 3](#) zeigt eine zweistufige Verbrennungsanlage der eingangs genannten Art, jedoch mit einer schematisch dargestellten Umlenkung von Verbrennungsgasanteilen durch die letzte Festbettausbrandzone als Lösung für die vorgenannt gestellte Aufgabe. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Brennbett **14** auf einem Verbrennungsrost **1** in einer Brennkammer **15** mit einem Einlass **16** für Brennstoff, einem Auslass **17** (vgl. Brennstofftransportrichtung **18** in [Fig. 1](#)) für Schlacke oder andere festen Verbrennungsprodukte sowie einer der Brennkammer nachgeschalteten Abgasausbrandzone **19** im Abgasabzug. Die Brennkammer **15** überdeckt alle Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$ , die vom Brennstoff im Brennbett seriell durchlaufen werden. Die Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_3$  werden jeweils durch den Verbrennungsrost mit einer individuellen sauerstoffhaltigen Primärgaszufuhr **7** pro Festbettausbrandzone durchströmt, während in der vorliegenden Ausführungsform in der Festbettausbrandzone  $P_4$  keine Primärgasdurchströmung des Brennbettes erfolgt. Eine sauerstoffhaltige Sekundärgaseindüsung **20** findet in der nachgeschalteten Abgasausbrandzone **19** im Abgasabzug statt.

**[0031]** Der Ort der Verbrennung **21** des festen Brennstoffes (in [Fig. 3](#) nur mit einer symbolischen Flamme dargestellt) findet hauptsächlich im Bereich der Festbettausbrandzone  $P_2$  statt, wobei in den Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$  naturgemäß unterschiedliche, insbesondere auf den Verbrennungsfortschritt und der Temperatur des Brennstoffs zurückzuführende Verbrennungszustände bestehen (vgl. [Fig. 2](#)).

**[0032]** Eine gute Schlackequalität charakterisiert sich durch geringe Konzentrationen an Restkohlenstoff (TOC) und Chlorid sowie an organischen Schadstoffen (z.B. PCDD/F). Dies wird durch eine ausreichend lange Verweilzeit der Schlacke bei hohen Temperaturen in der zweiten Rosthälfte (im Beispiel: Festbettausbrandzonen  $P_3$  und  $P_4$ ), vor allem in der letzten Festbettausbrandzone  $P_4$  sichergestellt. Dabei sind jedoch Brennbetttemperaturen über  $1000^\circ\text{C}$ , bevorzugt größer  $1100^\circ\text{C}$ , (die Schlackeschmelztemperatur) zu vermeiden, da dies zur Beschädigung oder Zerstörung des Rostes führen kann.

**[0033]** Eine Einstellung der gewünschten Temperaturen im Brennbett der Festbettausbrandzone  $P_4$  erfolgt vorzugsweise über eine Regelung der durchströmenden (d.h. angesaugten) Brenngasmenge oder über einen zeitlichen Wechsel (z.B. periodisch) von Saugbetrieb (Brenngasdurchströmung) oder Pri-

märgaszufuhr (Primärgasdurchströmung).

**[0034]** Zur Sicherstellung eines guten Sinterergebnisses ist eine Mindesttemperatur von  $600^\circ\text{C}$ , gemessen im Verbrennungsrost der letzten (oder der vorgenannten nachfolgenden) Festbettausbrandzone bei Verweilzeiten des Brennbettes größer 10 Minuten erforderlich. Die überschreitende Sintertemperatur liegt üblicherweise bei mindestens 60 bis 70% der Schlackeschmelztemperatur in  $^\circ\text{C}$ . Bevorzugt liegt die Brennbetttemperatur in der Festbettausbrandzone  $P_4$  bei  $800^\circ\text{C}$  bis maximal  $1000^\circ\text{C}$  an der Oberfläche der Schlackeschicht, bevorzugt gemessen mit einem Strahlungspyrometer.

**[0035]** Lange Verweilzeiten der Schlacke bei der Sinterung in der letzten Festbettausbrandzone  $P_4$  werden durch geringe Rostgeschwindigkeiten eingestellt. Die resultierende auflaufende hohe Schlackeschicht weist infolge einer schlechten Vermischung einen ausgeprägten Temperaturgradienten auf. Wenn diese Festbettausbrandzone von unten mit kaltem Primärgas angeströmt wird kühlt das Schlackebett stark ab und es findet in diesem Bereich nur noch ein sehr geringer Kohlenstoffausbrand statt.

**[0036]** Das vorgenannte Temperaturniveau zwischen Sinter- und Schmelztemperatur, bevorzugt zwischen  $800$  und  $1000^\circ\text{C}$  erzielt man dadurch, indem Brenngase aus der Brennkammer abgezweigt und bevorzugt auf möglichst kurzem Wege für die Durchströmung des Brennbettes auf der Festbettausbrandzone  $P_4$  umgeleitet werden. Die Brenngase aus der Brennkammer werden dabei bevorzugt mit einem Temperaturniveau (vgl. [Fig. 2](#), von z.B. ca.  $900^\circ\text{C}$  Temperaturverlauf **10**), d.h. im Bereich über den Festbettausbrandzonen  $P_2$  und  $P_3$  abgezweigt und direkt, d.h. bevorzugt, aber nicht einschränkend von oben nach unten durch das Brennbett in die Festbettausbrandzone  $P_4$  geleitet. Auf diese Weise erfolgt eine vollständige vertikale Durchströmung des Brennbettes mit den Schlackebestandteilen in Festbettausbrandzone  $P_4$  und damit zu einer Aufheizung aller Schlackebestandteile im Brennbett (vgl. [Fig. 2](#), ca.  $500$ - $700^\circ\text{C}$ , Temperaturverlauf **11**) auf eine Temperatur über der Sintertemperatur, vorzugsweise über  $800^\circ\text{C}$ . Die in Festbettausbrandzone  $P_4$  durch den Verbrennungsrost **1** durchströmenden Brenngase werden anschließend der Primärgaszufuhr **7** zugeführt oder oberhalb des Verbrennungsrostes wieder der Brennkammer zugeführt, wodurch ein Rezyklkreislauf **22** für die heißen Brenngase entsteht.

**[0037]** Da das rezyklierte Gas aus  $P_4$  noch einen erheblichen Sauerstoffgehalt aufweist kommt es zur teilweisen Nachverbrennung der heizwertreichen Brenngase aus  $P_2$ . Dies hat einen Anstieg der Temperaturen in der Brennkammer zur Folge (vgl. [Fig. 4a](#)). Durch das sich einstellende höhere Temperaturniveau der Brenngase erhöht sich die Tempera-



tur im Brennbett der Festbettausbrandzone  $P_4$  ebenfalls.

**[0038]** Wesentlich ist auch, dass das Brenngas oder Abgas eine für den Rest kohlenstoffabbau des Brennbetts in Festbettausbrandzone  $P_4$  ausreichende Sauerstoffmenge aufweist.

**[0039]** Bevorzugt erfolgt die Rezyklierung der Brenngase von oben nach unten durch das Brennbett mittels eines Umwälzmittels, bevorzugt eines Injektors oder eines Heißgasgebläses, vorzugsweise als Saugvorrichtung unterhalb des Verbrennungsrostes 1 in der letzten Rostzone angeordnet. Dabei gibt das Brenngas in vorteilhafter Weise ein Großteil der Wärme an das Brennbett ab. Infolge von Wärmeverlusten und durch eventuelle Zumischung von geringen Mengen an kaltem Gas (vorzugsweise Luft) unterhalb des Verbrennungsrostes der Zone 4 werden die temperatursensiblen beweglichen Anlagenteile (Verbrennungsrost, Umwälzmittel) geschont. Die abgesaugte Brenngasmenge (oder Abgasmenge mit Sauerstoffanteilen) wird entsprechend der maximal zulässigen Rosttemperatur (und vorgenannte Schmelztemperatur der Schlacke) begrenzt. Unterhalb des Verbrennungsrostes wird im Abgas der  $O_2$ - und CO-Gehalt gemessen. Zündfähige Gemische (CO = 12.5-79 Vol.% in Luft, Zündtemperatur  $T = 620^\circ\text{C}$ ) sind sehr unwahrscheinlich.

**[0040]** Bei Unterschreitung einer Mindest  $O_2$ -Konzentration (ca. 10 Vol.%) und Überschreitung einer maximalen CO-Konzentration (ca. 1 Vol.%) wird die Primärluft in der vorgelagerten Festbettausbrandzone  $P_3$  erhöht.

**[0041]** [Fig. 4a](#) und b zeigen die in drei Versuchen (V1, V2, V3) an einer Müllverbrennungsanlage (TAMARA des Forschungszentrum Karlsruhe) mit Rostfeuerung ermittelten Rosttemperaturen 23 ([Fig. 4a](#)) und Rauchgastemperaturen 24 (Brenngastemperaturen in der Brennkammer, [Fig. 4b](#)) über die vorgenannten vier Festbettausbrandzonen, aufgetragen über die Festbettausbrandzonen. [Fig. 5a](#) und b geben TOC-Konzentrationen 25 in % (vgl. [Fig. 5a](#)) und Chloridgehalte 26 in mg/kg (vgl. [Fig. 5b](#)) in der Schlacke (trockene Beprobung) über die vorgenannten drei Versuche wieder. Dabei erfolgte eine Absaugung des rezyklierten Brenngases mittels eines Injektors durch das Brennbett in der letzten Festbettausbrandzone sowie eine Rückführung des rezyklierten Brenngases in die Brennkammer über der Festbettausbrandzone  $P_2$ .

**[0042]** Der Versuch V1 diente als Referenzversuch ohne eine Rezyklierung von Brenngas gemäß der Erfindung. Die Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$  wurden dabei mit 50/100/100/50  $\text{m}^3/\text{h}$  Primärgas durchströmt. Die entsprechenden über den Rostantrieb eingestellten Brennstoffverweilzeiten in den einzel-

nen Festbettausbrandzonen  $P_1$  bis  $P_4$  betrugen 300/300/600/1200 s.

**[0043]** Die Versuche V2 und V3 erfolgten dagegen mit vorgenannter Absaugung von zu rezyklierendem Brenngas (ca.  $35\text{m}^3/\text{h}$ ) von oben nach unten durch das Brennbett in der Festbettausbrandzone  $P_4$ . Leckagen führten in der Primärgaszuführung jedoch zu einer, wenn auch verminderten Primärgaszufuhr ca.  $15\text{m}^3/\text{h}$  in der Festbettausbrandzone  $P_4$ , was sich kühlend, d.h. günstig auf die Temperatur unterhalb des Verbrennungsrostes und das Absaugmittel (Injektor) auswirkt, d.h. die dort befindlichen mechanischen Komponenten schont. Die im abgesaugten Rauchgas unter dem Verbrennungsrost gemessenen Temperaturen steigen im Vergleich zu V1 von  $240$  auf  $460^\circ\text{C}$ . Die vorgenannten Mindest- $O_2$ -Konzentrationen direkt unterhalb des Verbrennungsrostes von  $p_4$  lagen bei ca. 17.8 Vol.%, die maximalen CO-Konzentrationen bei 0.12 Vol.%. Die axialen Temperaturprofile im Verbrennungsrost und im Abgas oberhalb des Brennbettes wurden am Rostende um ca.  $100 - 150^\circ\text{C}$  erhöht (vgl. [Fig. 4a](#) und b). Signifikant sind die im Vergleich zu V1 reduzierten der TOC-Konzentrationen (vgl.

**[0044]** [Fig. 5a](#)) und Chloridgehalte (vgl. [Fig. 5b](#)) um Faktoren von 4 bzw. 3, was in vorteilhafter Weise in eine niedrige PCDD/F-Konzentration in der Schlacke einmündet. [Fig. 6](#) zeigt hierzu die entsprechenden gemessenen Toxizitätsäquivalente 27 in ng/kg (TEq) der im Rahmen der Versuche gewonnenen Schlacke (Chlorid-Konzentration (in %) 28 und der TOC-Konzentration (in %) 25).

**[0045]** Negative Effekte des Verfahrens auf den Verbrennungsprozess und die Bildung von Schadstoffen konnten nicht festgestellt werden. Die Bildung von  $\text{NO}_x$  wurde sogar um ca. 20% gemindert.

#### Bezugszeichenliste

1	Verbrennungsrost
2	Trocknung
3	Entgasung
4	Abbrand
5	Sinterung der Rostasche
6	Rostlänge
7	Primärgaszufuhr
8	Temperaturverlauf ( $^\circ\text{C}$ )
9	Konzentration
10	Temperatur oberhalb des Brennbetts
11	Temperatur direkt auf der Rostoberfläche
12	Kohlenstoffabbau (%)
13	Sauerstoffkonzentration oberhalb des Brennbetts
14	Brennbett
15	Brennkammer
16	Einlass
17	Auslass

- 18 Brennstofftransportrichtung
- 19 Abgasausbrandzone
- 20 Sekundärgaseindüsung
- 21 Verbrennung
- 22 Rezyklierkreislauf
- 23 Rosttemperatur (°C)
- 24 Rauchgastemperatur (°C)
- 25 TOC-Konzentration (%)
- 26 Chlorid-Konzentration in ppm
- 27 PCDD/F-Toxizitätsäquivalent TEq (ng/kg)
- 28 Chlorid-Konzentration in

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung der Schlackequalität von Rostfeuerungsanlagen, umfassend

- a) ein Brennbett (14)
- b) mit mehreren hintereinander angeordneten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_4$ )
- c) auf einem Verbrennungsrost (1) und
- d) einer darüber angeordneten Brennkammer (15), wobei
- e) die ersten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_3$ ) von einem sauerstoffhaltigen Primärgas (7) durchströmt und
- f) das Brennbett mindestens eine den ersten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_3$ ) nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) permanent oder im zeitlichen Wechsel
- g) mit einem heißen Brenngas direkt aus der Brennkammer (5) und nicht mit Primärgas (7) durchströmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Brenngas das Brennbett in der nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) von oben nach unten durchströmt.

3. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das aus der Brennkammer (15) angesaugte Brenngas einem oder mehreren Primärgasströmen (7) der vorgelagerten ersten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_3$ ) beige-mischt und mit diesem gemeinsam von unten nach oben durch das Brennbett (14) geleitet wird.

4. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das heiße Brenngas mit Hilfe von Ansaugmitteln durch das Brennbett (14) der nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) gesaugt wird.

5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterhalb des Verbrennungsrosts (1) eine Kühlluftanströmung vorgesehen ist.

6. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich im Festbett im Bereich der nachfolgenden Festbettaus-

brandzone ( $P_4$ ) eine Temperatur zwischen 600°C und der Schmelztemperatur der Schlacke einstellt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass sich auf der Brennbettsoberfläche des Brennbettes (14) im Bereich der nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) eine mittels Pyrometer gemessene Temperatur zwischen 800 und 1000°C einstellt.

8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im rezyklierten Brenngas unmittelbar unter dem Verbrennungsrost (1) der nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) eine Sauerstoffgehalts-, eine Kohlenmonoxidgehalts- und/oder eine Temperaturmessung erfolgt, wobei bei einer Unterschreitung einer Mindestsauerstoffkonzentration und/oder Überschreitung einer Maximalkohlenstoffmonoxidkonzentration eine Erhöhung der Primärgaszufuhr (7) in den der nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) vorangegangenen Festbettausbrandzonen ( $P_2$  und  $P_3$ ) erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Mindestsauerstoffkonzentration bei 10 Vol.% und die Maximalkohlenstoffmonoxidkonzentration 1 Vol.%, beträgt.

10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Verbesserung der Schlackequalität von Rostfeuerungsanlagen gemäß einem der vorgenannten Ansprüche, umfassend

- a) ein Brennbett (14)
- b) mit mehreren hintereinander angeordneten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_4$ )
- c) auf einem Verbrennungsrost (1) und
- d) einer darüber angeordneten Brennkammer (15), wobei
- e) die ersten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_3$ ) von einem sauerstoffhaltigen Primärgas (7) durchströmbar und
- f) das Brennbett mindestens eine den ersten Festbettausbrandzonen ( $P_1$  bis  $P_3$ ) nachfolgenden Festbettausbrandzone ( $P_4$ ) permanent oder im zeitlichen Wechsel
- g) mit einem heißen Brenngas direkt aus der Brennkammer (5) und nicht mit Primärgas (7) durchströmbar sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

Stand der Technik

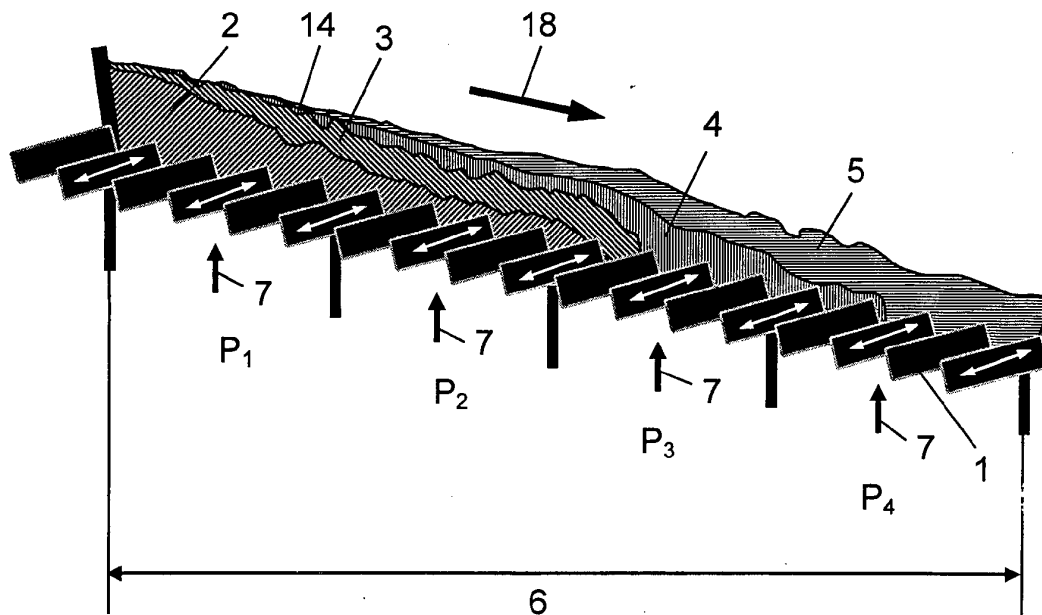


Fig. 2

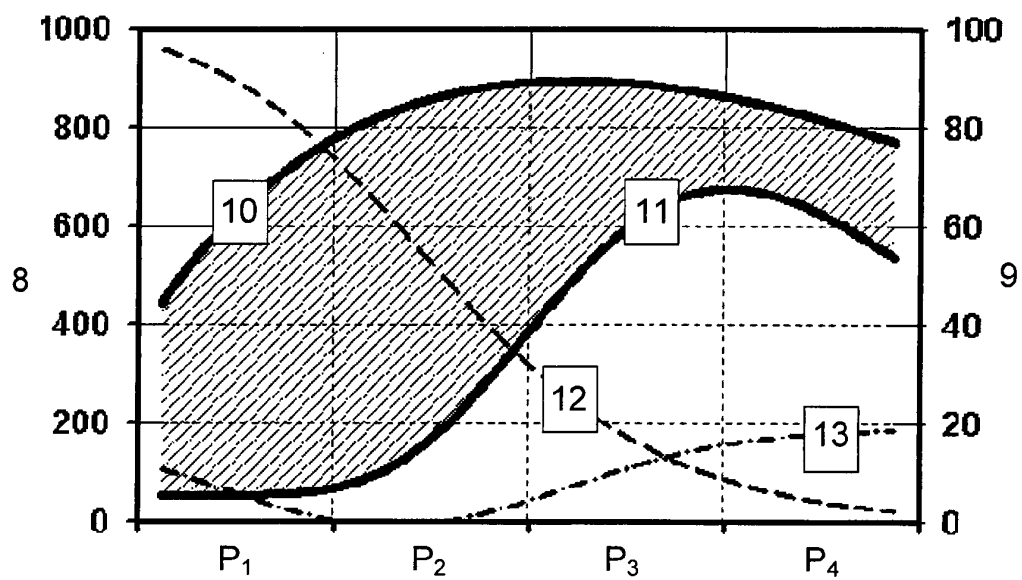




Fig. 3

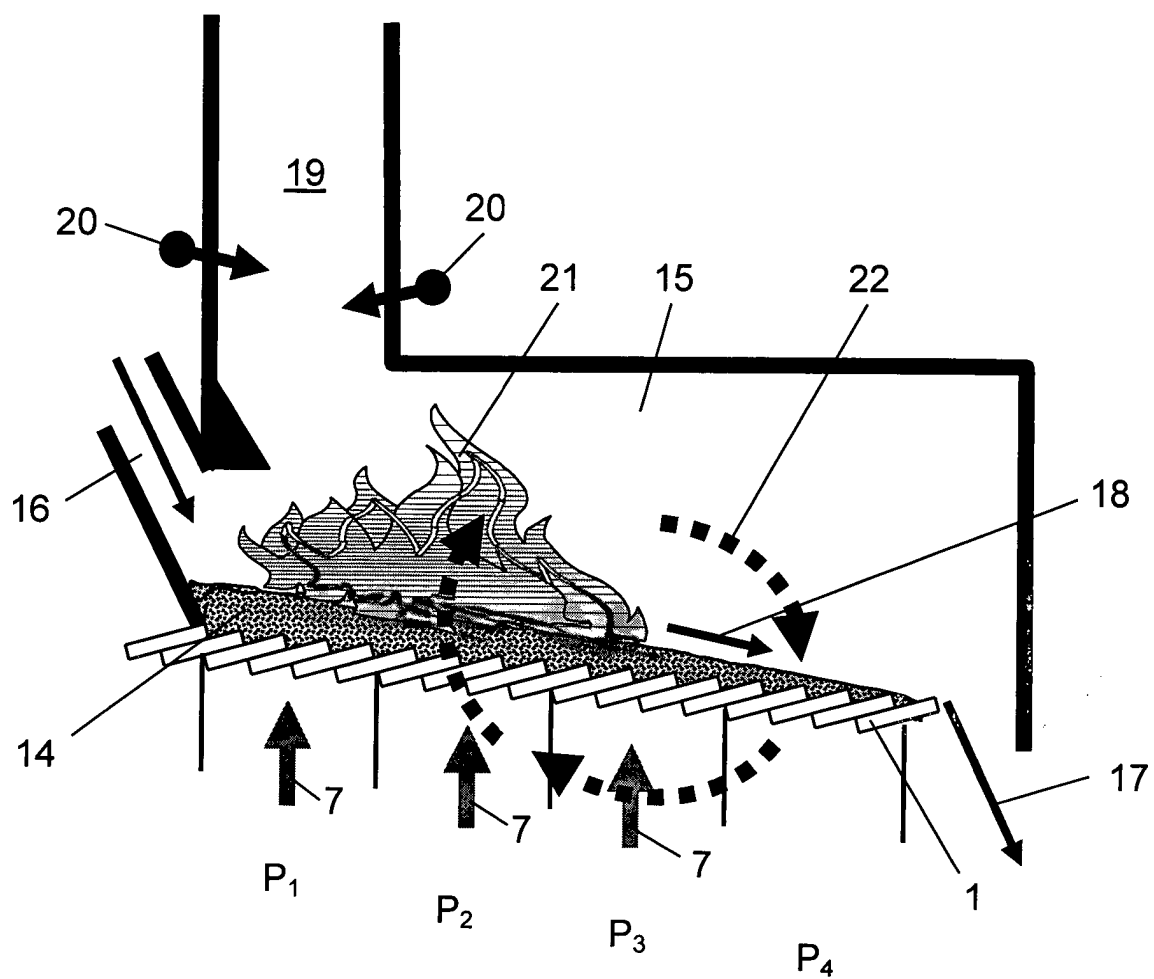


Fig. 4a

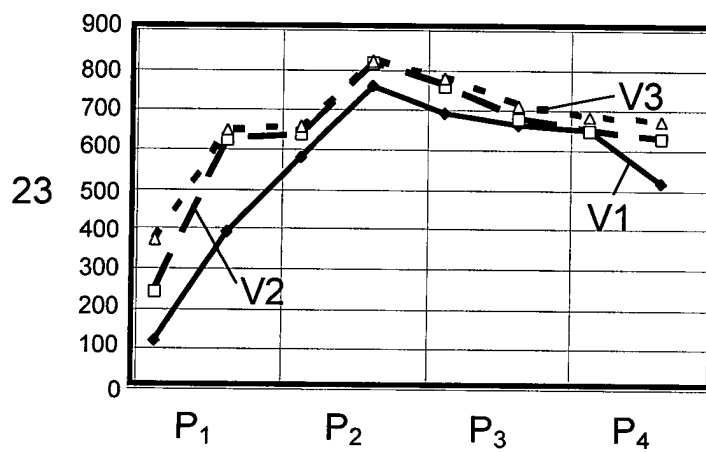


Fig. 4b

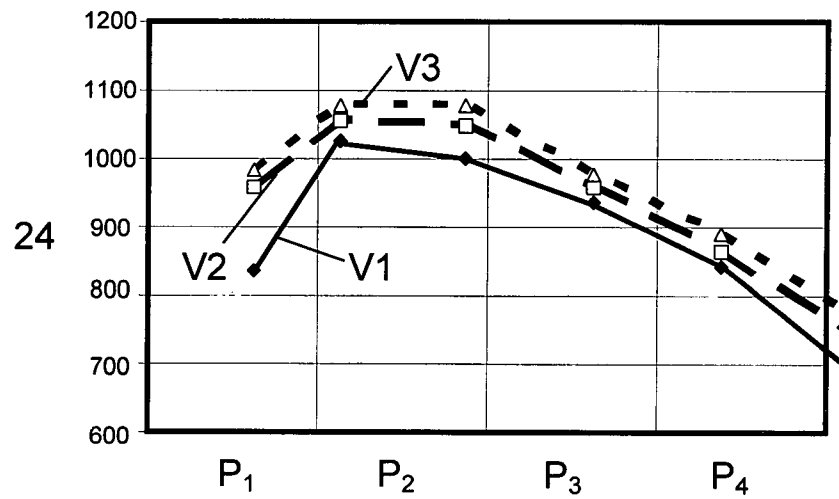


Fig. 5a

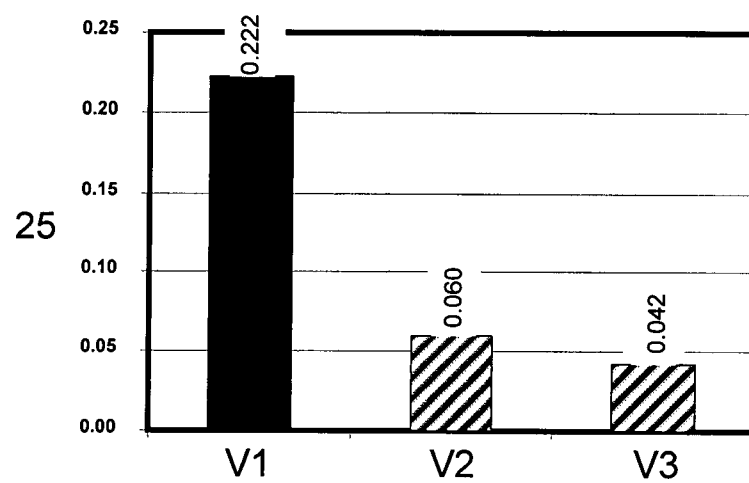


Fig. 5b

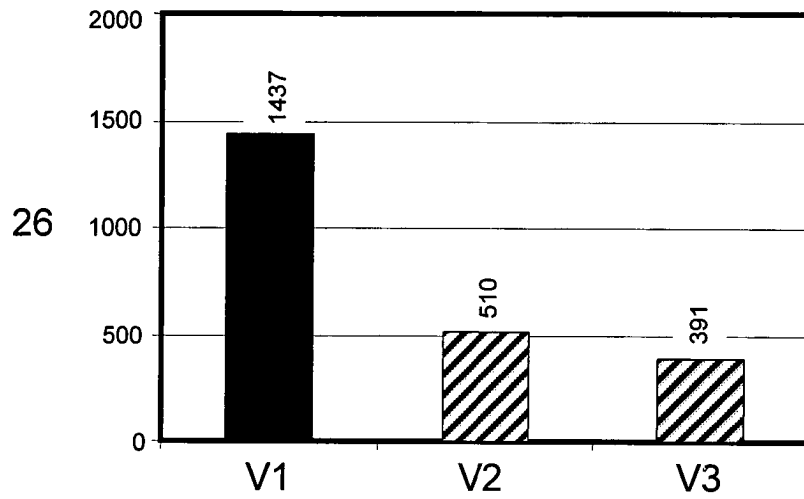


Fig. 6

