



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

**0 292 706**  
**A1**

(2)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **88106499.2**

(51) Int. Cl. 4: **F23N 5/00**

(22) Anmeldetag: **22.04.88**

(30) Priorität: **23.05.87 DE 3717503**  
**22.03.88 DE 3809556**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**30.11.88 Patentblatt 88/48**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE FR GB IT LI NL SE**

(71) Anmelder: **Hartmann & Braun**  
**Aktiengesellschaft**  
**Gräfstrasse 97**  
**D-6000 Frankfurt am Main 90(DE)**

(72) Erfinder: **Ascherfeld, Margareta**  
**Friedrich-Wilhelm-Jahn-Strasse 12**  
**D-6370 Oberursel(DE)**  
Erfinder: **Fabinski, Walter**  
**An der Landwehr 70**  
**D-6239 Kriftel(DE)**  
Erfinder: **Nicolai, Wolfgang**  
**Steiler Weg 22**  
**D-4950 Minden(DE)**

(54) **Verfahren zur Optimierung der Feuerung wasserstoffhaltiger Brennstoffe.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung der Feuerung wasserstoffhaltiger Brennstoffe. Als Regelgröße wird der Wasserdampfgehalt im Rauchgas zugrunde gelegt. Das Luft/Brennstoffverhältnis wird so eingestellt, daß der Wasserdampfgehalt im Rauchgas maximal ist.

**EP 0 292 706 A1**

### Verfahren zur Optimierung der Feuerung wasserstoffhaltiger Brennstoffe

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung der Feuerung wasserstoffhaltiger Brennstoffe nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Für die Optimierung der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe ist ein Verfahren bekannt, welches den Anteil unverbrannten Brennstoffes sowie der Überschlußluft minimiert (Patentanmeldung P 34 24 946 5 und Veröffentlichung in der VGB-Kraftwerkstechnik, Heft 2/87, Seiten 143/149). Hier wird der Kohlenmonoxyd Bildungspunkt zur Optimierung herangezogen. Die Sauerstoffkonzentration dient zur Anzeige des Wirkungsgrades. Wasserstoffhaltige Brennstoffe können ebenso optimiert werden, wenn sie Kohlenstoff enthalten, z.B. bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen.

Für die Verbrennung von reinem Wasserstoff ist derzeit kein Verfahren bekannt, welches sowohl den 10 Anteil Unverbrannten als auch die Überschlußluft minimiert. Bekannt ist der Einsatz der Sauerstoffmessung zur Feuerungsoptimierung. Hier gelten jedoch die bekannten Einschränkungen (s. die angebené Literatur).

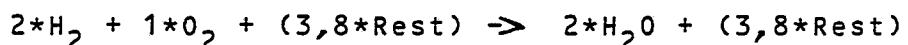
Die Aufgabe besteht darin, die optimale Einstellung des Luft/Brennstoffverhältnisses zu erreichen mit dem Ziel, Verluste durch unverbrannte Bestandteile oder durch Überschlußluft auf ein Minimum zu senken.

Die gestellte Aufgabe ist mit den im Kennzeichen des Anspruches 1 angebeneñ Verfahrensmerkmalen 15 gelöst.

Zur Auffindung des günstigsten Luft/Brennstoffverhältnisses dient der Wasserdampfgehalt im Rauchgas. Als Produkt des Verbrennungsprozesses ist dieser Wert besonders für diese Aufgabe geeignet. Die Einstellung erfolgt bei dem Luft/Brennstoffverhältnis, bei dem der Wasserdampfgehalt im Rauchgas maximal ist. Besonders vorteilhaft dabei ist, daß der Maximalwert für die Konzentration gleichzeitig ein 20 eindeutiges Maß für den Wirkungsgrad der Verbrennung ist. Das Verfahren ist besonders gut bei der Verbrennung von reinem Wasserstoff geeignet.

Das Verfahren wird im folgenden anhand der Figuren 1 bis 4 näher erläutert.

Bei stöchiometrischer Verbrennung (Luft/Brennstoffverhältnis  $\lambda = 1$ ) stellt sich eine theoretisch maximale Wasserdampf-Konzentration  $K_{max/theor.}$  ein. Diese ermittelt sich aus der Reaktionsgleichung für die 25 Verbrennung von reinem Sauerstoff mit Luft (Luft: 20,9 % Sauerstoff und 78,1 % Rest) zu:



30

$$K_{max/theor.} = \frac{2 / H_2O /}{2 / H_2O / + 3,8 / \text{Rest} /}$$

$$= 34,5 \% \text{ Wasserdampf im Rauchgas.}$$

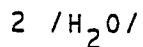
40 Der in Klammern aufgeführte Anteil 3,8 \* Rest setzt sich aus dem Stickstoff und weiterer an der Verbrennung nicht teilnehmender Inertgase der Verbrennungsluft zusammen.

Für die Verbrennung von wasserstoff- und kohlenstoffhaltigen Brennstoffen wie zum Beispiel Kohlenwasserstoffen ergeben sich je nach C- und H-Zahl in den Molekülen unterschiedliche Werte für die theoretisch maximale Wasserdampf-Konzentration  $K_{max/theor.}$  Als Beispiel sei hier die Verbrennung von Methan 45  $CH_4$  angenommen:

50



5



$$K_{\max/\text{theor.}} = \frac{2 \cdot \text{H}_2\text{O}}{1 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot 3,8 / \text{Rest}}$$

10

$$= 18,8 \% \text{ Wasserdampf im Rauchgas}$$

In Fig. 1 ist der Verlauf der Wasserdampf-Konzentration  $K$  in Abhängigkeit von dem Luft/Brennstoffverhältnis  $\lambda$  für eine Feuerung mit wasserstoffhaltigen Brennstoffen dargestellt.

15

Bei der realen Verbrennung stellt sich im Maximum der Wasserdampf-Konzentration jedoch nicht der maximal mögliche Konzentrations-Wert  $K_{\max/\text{theor.}}$  ein. Es liegen Verluste beim Verbrennungsprozeß vor. Diese ergeben sich, wenn z.B. die Durchmischung der Luft mit dem Brennstoff nicht fein genug ist. Zur vollständigen Verbrennung muß deshalb mehr Luft gegeben werden, als zur stöchiometrischen Verbrennung benötigt wird. Dies bewirkt eine Verdünnung der Wasserdampf-Konzentration im Arbeitspunkt. Unabhängig von diesen realen Verhältnissen zeigt das Maximum der Wasserdampf-Konzentration  $K_{\max}$  jedoch immer die unter diesen Umständen optimale, d.h. vollständige Verbrennung im angestrebten Arbeitspunkt  $\lambda_{\text{opt}}$  an. Darüberhinaus gestattet der Konzentrations-Wert  $K_{\max}$  noch eine Aussage zum Wirkungsgrad gemäß der Formel

25

$$K_{\max/\text{theor.}} - K_{\max}$$

$$\mu = \frac{K_{\max/\text{theor.}} - K_{\max}}{K_{\max/\text{theor.}}} - 100 (\%)$$

30

Eine solche reale Verbrennung wird in Fig. 2 gezeigt. Der Punkt optimaler Verbrennung  $\lambda_{\text{opt}}$  liegt bei der realen Verbrennung immer im Bereich  $\lambda > 1$ , d.h. bei Luftüberschuss. Bei Mehrbrennersystemen ergeben sich zusätzliche Verluste, da jeder Brenner unter realen Bedingungen ein eigenes optimales Luft/Brennstoffverhältnis benötigt. Fig. 3 zeigt dieses Verhalten am Beispiel eines Zwei-Brenner-Systems.

35

Den Verlauf der Wasserdampf-Konzentration  $K$  über das Brennstoff/Luftverhältnis  $\lambda$  für jedes Brenner-System stellen die Kurven 1 und 2 in Figur 3 dar. Die optimale Verbrennung ist gegeben bei  $\lambda_{1 \text{ opt}}$  und  $\lambda_{2 \text{ opt}}$ . Die Summenkurve  $\bar{K}$  für die Wasserdampf-Konzentration über  $\lambda$  ist abgeflacht und zeigt im Maximum einen Wert, der kleiner als der maximal mögliche Konzentrations-Wert ist. Werden die Brenner einzeln auf ihr Optimum  $\lambda_{i \text{ opt}}$  eingestellt, dann ergibt sich für den Verlauf der Wasserdampf-Konzentration im Rauchgas über  $\lambda$  ein Maximum mit steilen Flanken. Der hohe Wert für die maximale Wasserdampf-Konzentration  $K_{\max}$  zeigt einen hohen Wirkungsgrad der Verbrennung an, wie in Fig. 4 dargestellt ist.

40

Mit der Zugrundelegung der Wasserdampf-Konzentration im Rauchgas wasserstoffhaltiger Brennstoffe als Regelgröße lässt sich die Feuerung optimieren, unabhängig von den verschiedenen Zuständen der realen Verbrennung. Das Maximum der Wasserdampf-Konzentration ist gleichzeitig das Optimum der Verbrennung, wie real auch immer die Verhältnisse sind. Gleichzeitig gestattet der Konzentrations-Wert des Wasserdampfes eine Aussage über den Wirkungsgrad der Verbrennung. Durch die Zugrundelegung nur einer Rauchgasgröße - die Wasserdampf-Konzentration  $K$  - für die optimale Einstellung der Verbrennung ergibt sich gleichzeitig ein geringer Aufwand für die Meßtechnik. Durch den Vergleich gemessener Werte mit vorgegebenen Wasserdampf-Konzentrations-Werten bzw. den  $\lambda$ -Werten lässt sich gleichzeitig eine Plausibilitätsaussage für die Verbrennung durchführen.

50

### Ansprüche

55

1. Verfahren zur Optimierung der Feuerung wasserstoffhaltiger Brennstoffe, mit einer Einrichtung zur Regelung des Luft/Brennstoffverhältnisses, gekennzeichnet dadurch, daß als Regelgröße der Wasserdampfgehalt im Rauchgas zugrunde gelegt wird und daß das Luft/Brennstoffverhältnis ( $\lambda$ ) so eingestellt wird, daß der Wasserdampfgehalt im Rauchgas maximal ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der angezeigte Wert für die maximale Wasserdampf-Konzentration im Rauchgas der Berechnung des Wirkungsgrades zugrunde gelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der errechnete Wirkungsgrad für eine Plausibilitätsaussage der Verbrennung zugrunde gelegt wird.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß nach Abschluß des Auffindens der max. Wasserdampf-Konzentration im Rauchgas ein Sicherheitsschritt mit einer vorgegebenen Größe in Richtung Luftüberschuß gegeben wird.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mittels einzelner Verfahrensschritte bei Mehrbrennersystemen durch iteratives Suchen der Maxima der Wasserdampf-Konzentration im Rauchgas der einzelnen Brenner eine optimale Einstellung für jeden einzelnen Brenner erfolgt.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

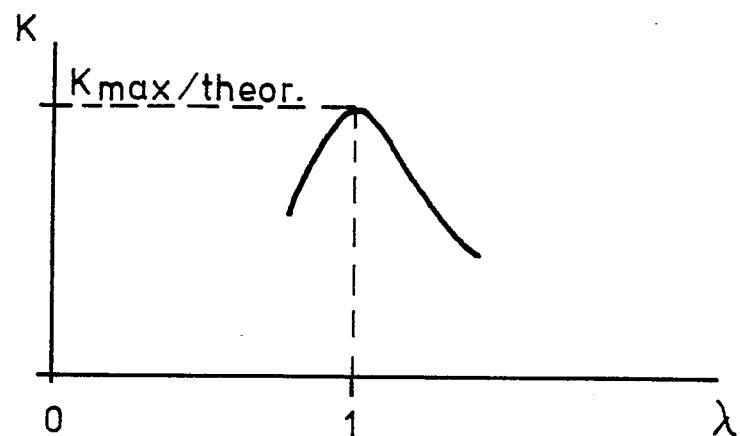


Fig. 1

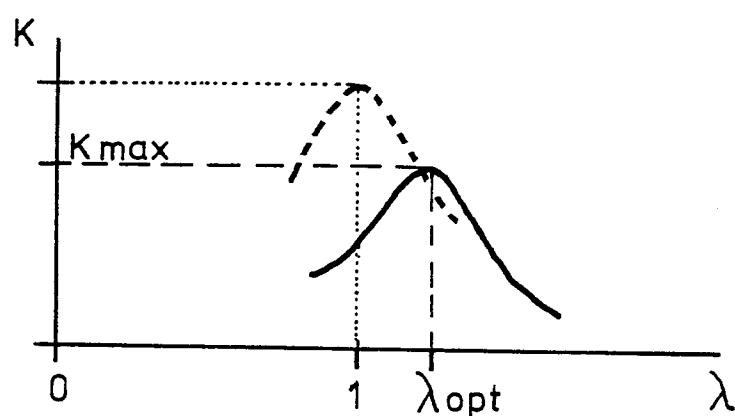


Fig. 2

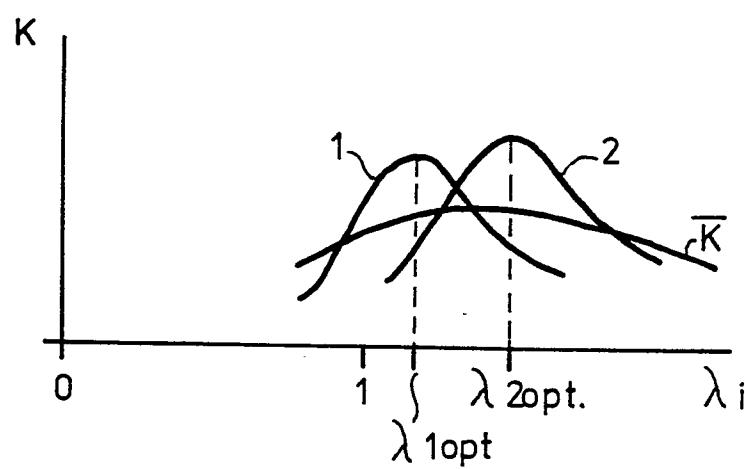


Fig. 3

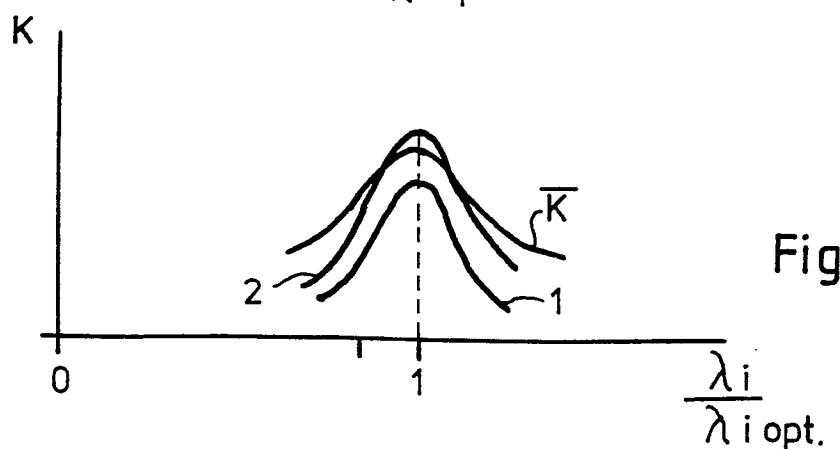


Fig. 4



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE									
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)						
A	US-A-4 492 560 (SUNDBERG) * Figuren 1,2,5,6; Zusammenfassung; Spalte 2, Zeilen 46-47; Spalte 4, Zeilen 7-12; Spalte 7, Zeilen 1-6; Ansprüche 19,20,21 *	1,3	F 23 N 5/00						
A	CH-A- 340 939 (CKD-DUKLA) ---								
A	FR-A-1 288 890 (OCCR) -----								
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)									
F 23 N									
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Recherchenort</td> <td style="width: 33%;">Abschlußdatum der Recherche</td> <td style="width: 34%;">Prüfer</td> </tr> <tr> <td>DEN HAAG</td> <td>19-08-1988</td> <td>THIBO F.</td> </tr> </table> <p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>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</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze  E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelddatum veröffentlicht worden ist  D : in der Anmeldung angeführtes Dokument  L : aus-anderen Gründen angeführtes Dokument  .....  &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>				Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	DEN HAAG	19-08-1988	THIBO F.
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer							
DEN HAAG	19-08-1988	THIBO F.							