

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 621 811 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.02.2006 Patentblatt 2006/05

(51) Int Cl.:
F23D 14/72 (2006.01) F23R 3/28 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05106361.8**

(22) Anmeldetag: **12.07.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **29.07.2004 DE 102004036911**

(71) Anmelder: **Alstom Technology Ltd
5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder:
• **Garay, Mauricio
5400, Baden (CH)**
• **Guidati, Gianfranco
8048, Zürich (CH)**
• **Pennell, Douglas Anthony
CA9 3LW, Alston (GB)**
• **Reiss, Frank
79787, Lauchringen (DE)**

(54) Betriebsverfahren für eine Feuerungsanlage

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage mit Mehr-Brenner-System zur Heißgaserzeugung, insbesondere eine Gasturbine einer Kraftwerksanlage, umfassend eine Brennkammer (1) mit wenigstens einem Brenner (2).

Um die Brennkammer (1) nahe an der mageren Löschgrenze stabil zu betreiben, wird die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) für einen stationären Betrieb der Gasturbine in Abhängigkeit von in der Brennkammer (1) auftretenden Druckpulsationen geregelt.

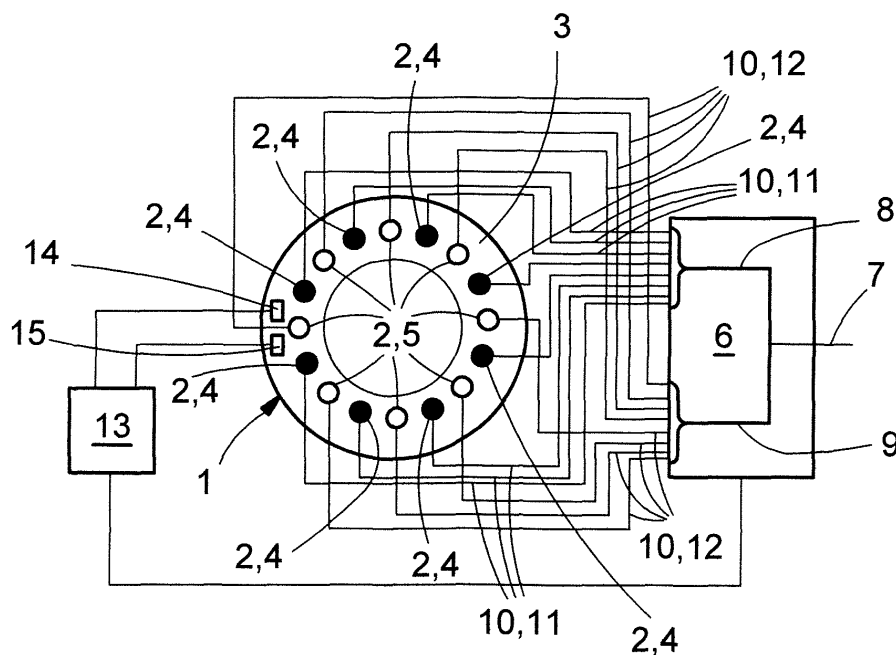


Fig.2

EP 1 621 811 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage mit Mehr-Brenner-System zur Heißgaserzeugung, insbesondere Gasturbine, vorzugsweise einer Kraftwerksanlage.

Stand der Technik

[0002] Eine Feuerungsanlage, z.B. eine Gasturbine, weist üblicherweise eine Brennkammer mit mehreren Brennern auf. Des weiteren ist regelmäßig eine Brennstoffversorgungsanlage vorgesehen, mit deren Hilfe die Brenner mit Brennstoff versorgt werden.

[0003] Im Hinblick auf immer strenger werdende Vorschriften über einzuhaltende Grenzwerte für Schadstoffemissionen wird versucht, die Brenner möglichst mager zu betreiben, das heißt, mit einem deutlichen Überschuss an Oxidator, in der Regel Luft. Durch den Magerbetrieb kann vor allem die Entstehung besonders schädlicher NO_x-Emissionen erheblich reduziert werden. Durch eine magere Verbrennung wird die Verbrennungsreaktion gleichzeitig an ihre magere Löschgrenze angelehnt. Für minimale Schadstoffemissionen wird daher versucht, die Gasturbine bzw. ihre Brennkammer möglichst nahe an der mageren Löschgrenze zu betreiben. Bei einem herkömmlichen Betriebsverfahren muss dazu die Brennstoffversorgung in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen eingestellt werden. Üblicherweise berücksichtigte Randbedingungen sind zum Beispiel die Umgebungstemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, der aktuelle Luftmassenstrom, der insbesondere vom Verschmutzungsgrad eines der Brennkammer vorgeschalteten Verdichters abhängt, die Schaltstellung ("ein" oder "aus") einer Brennstoff- und/oder Luftvorwärmanrichtung, die Zusammensetzung des aktuell verwendeten Brennstoffs und so weiter. Besonders aufwendig wird die Steuerung der Brennstoffversorgungsanlage, wenn die berücksichtigten Randbedingungen variieren. Beispielsweise wird sich die Umgebungstemperatur und/oder die Brennstoffzusammensetzung im Verlauf eines Betriebszugs der Gasturbine in der Regel verändern. Da sich die einzelnen Randbedingungen unterschiedlich auf die Stabilität des Verbrennungsvorgangs auswirken, gelingt es nicht immer, für die Brennstoffzuführung eine Einstellung zu finden, die einen stabilen Betrieb der einzelnen Brenner nahe an der mageren Löschgrenze ermöglicht. Um dennoch einen ordnungsgemäßen Betrieb der Gasturbine gewährleisten zu können, was insbesondere bei einer Kraftwerksanlage zur Erzeugung von Strom oberste Priorität hat, wird regelmäßig in Kauf genommen, dass die Brennkammer bezüglich der mageren Löschgrenze mit einem Sicherheitsabstand betrieben wird, wobei dann die daraus zwangsläufig resultierenden größeren Schadstoffemissionen ebenfalls in Kauf genommen werden müssen.

Darstellung der Erfindung

[0004] Hier setzt die vorliegende Erfindung an. Die Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, beschäftigt sich mit dem Problem, für ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art eine verbesserte Ausführungsform anzugeben, die insbesondere einen sicheren Betrieb der Brennkammer nahe der mageren Löschgrenze vereinfacht bzw. erst ermöglicht. Vorzugsweise soll ein bislang erforderlicher Sicherheitsabstand zur mageren Löschgrenze verringert werden.

[0005] Erfindungsgemäß wird dieses Problem durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0006] Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, die Brennstoffzufuhr zu den Brennern der Brennkammer in Abhängigkeit von in der Brennkammer auftretenden Druckpulsationen zu regeln. Das bedeutet, dass die in der Brennkammer auftretenden Druckpulsationen als Führungsgröße für die Regelung der Brennstoffzufuhr zu den Brennern dienen. Die Erfindung nutzt dabei die Erkenntnis, dass die Druckpulsationen bei einer Annäherung des Verbrennungsprozesses an die magere Löschgrenze zunehmen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei jedoch die überraschende Erkenntnis, dass die Intensität oder Amplitude der Druckpulsationen bei gewissen charakteristischen Frequenzen mit dem Abstand zwischen dem Verbrennungsprozess und der zugehörigen mageren Löschgrenze korreliert, und zwar im wesentlichen unabhängig von den den Verbrennungsprozess und/oder die magere Löschgrenze beeinflussenden Randbedingungen, wie zum Beispiel Umgebungstemperatur, Brennstoffzusammensetzung und Luftfeuchtigkeit. Das bedeutet, dass eine Änderung der Randbedingungen, die zum Beispiel zu einer Vergrößerung des Abstands des momentan ablaufenden Verbrennungsprozesses zur mageren Löschgrenze führt, mit einer Abnahme der auftretenden Druckpulsationen einhergeht.

[0007] Die Druckpulsationen können auf herkömmliche Weise erfasst werden, was einen Vergleich zwischen einem gemessenen Istwert und einem vorbestimmten oder einstellbaren Sollwert ermöglicht und in Abhängigkeit dieses Soll-Ist-Vergleichs der Druckpulsationen eine entsprechende Adaption der Brennstoffversorgung ermöglicht. Durch diese Rückkopplung über die Druckpulsationen wird für die Brennstoffversorgung der Brenner ein geschlossener Regelkreis bereitgestellt. Der Betrieb der Gasturbine bzw. die Brennstoffversorgung der Brenner wird durch das erfindungsgemäße Betriebsverfahren extrem vereinfacht, da durch die Berücksichtigung der Intensität oder Amplitude der Druckpulsationen die weiter oben bereits mehrfach genannten Randbedingungen, welche den Abstand zwischen dem Verbrennungsprozess und der mageren Löschgrenze bestimmen, in der Regelung automatisch mit berücksichtigt werden, ohne dass sie dazu explizit überwacht und/oder in die Rege-

lung integriert werden müssen. Es liegt auf der Hand, dass sich durch das erfindungsgemäße Betriebsverfahren der Aufwand zum Betreiben der Gasturbine deutlich reduziert. Des weiteren kann die Brennkammer durch eine entsprechende Auswahl von Sollwerten für die Druckpulsationen sicher und dennoch sehr nahe an der mageren Löschgrenze betrieben werden.

[0008] Von besonderem Vorteil ist beim erfindungsgemäßen Betriebsverfahren auch die Tatsache, dass eine moderne Brennkammer ohnehin regelmäßig mit einer Sensorik zur Überwachung der Druckpulsationen ausgestattet ist, so dass zum erfindungsgemäßen Betreiben der Gasturbine auf diese Sensorik zugegriffen werden kann und dementsprechend keine zusätzlichen Kosten für die Instrumentalisierung bzw. Realisierung des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens entstehen.

[0009] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann bei Erreichen eines vorbestimmten oder einstellbaren Maximalwerts für die Druckpulsationen die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner der Brennkammer um einen vorbestimmten Wert angefettet werden. Der Maximalwert der Druckpulsationen kann beispielsweise empirisch ermittelt werden und definiert den kleinsten Abstand zur mageren Löschgrenze, bei dem noch ein stabiler Betrieb der Brennkammer gewährleistet werden kann. Die Vorgabe eines bestimmten Werts, um welchen die Brennstoffzufuhr zum jeweiligen Brenner ggf. angefettet werden soll, ermöglicht dabei ein rasches Ansprechen der Regelung und somit die Einhaltung eines möglichst kleinen Abstands zwischen Pulsations-Istwert und Pulsations-Sollwert.

[0010] Bei einer anderen Ausführungsform kann bei Erreichen eines vorbestimmten oder einstellbaren Minimalwerts für die Druckpulsationen die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner um einen vorbestimmten Wert abgemagert werden. Bei dieser Ausführungsform wird für den Betrieb der Brennkammer ein maximaler Abstand zwischen der Verbrennungsreaktion und der mageren Löschgrenze definiert, der nicht überschritten werden soll. Durch diese Maßnahme wird gewährleistet, dass stets ein möglichst niedriger Abstand zur mageren Löschgrenze aufrechterhalten wird, was zu niedrigen Schadstoffemissionen führt.

[0011] Mit dem Maximalwert und dem Minimalwert für die Druckpulsationen wird für den Betrieb der Brennkammer ein Pulsationsfenster definiert, in dem die Brenner der Brennkammer betrieben werden und das einen hinreichenden, jedoch sehr kleinen Abstand von der mageren Löschgrenze und gleichzeitig die Einhaltung niedriger Grenzwerte für die Schadstoffemissionen gewährleistet.

[0012] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen. Es zeigen, jeweils schematisch,

- Fig. 1 ein Diagramm, in dem die Verläufe von Druckpulsationen und Schadstoffemissionen über einem Brennstoff/Oxidator-Verhältnis aufgetragen sind,
- Fig. 2 eine schaltplanartige Prinzipdarstellung einer Brennkammer,
- Fig. 3 eine Darstellung wie in Fig. 2, jedoch bei einer anderen Ausführungsform.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0014] Entsprechend Fig. 2 ist eine Brennkammer 1 einer im übrigen nicht dargestellten Feuerungsanlage mit mehreren Brennern 2 ausgestattet, wodurch ein Mehr-Brenner-System ausgebildet wird. Die Brenner 2 sind dabei an einer Eintrittsseite eines beispielsweise ringförmigen Brennraums 3 der Brennkammer 1 angeordnet. Bei einer als Gasturbine, insbesondere einer Kraftwerksanlage, ausgestalteten Feuerungsanlage befindet sich stromauf der Brennkammer 1 üblicherweise ein hier nicht gezeigter Verdichter, während stromab der Brennkammer 1 die eigentliche, hier nicht gezeigte Turbine angeordnet ist.

[0015] Die Brenner 2 sind in zwei Gruppen unterteilt, nämlich in eine Hauptgruppe und eine Nebengruppe. Die Brenner 2 der Hauptgruppe sind hier durch Vollkreise symbolisiert und werden im folgenden auch als Hauptbrenner 4 bezeichnet. Im Unterschied dazu sind die Brenner 2 der Nebengruppe durch Leerkreise symbolisiert und werden im folgenden auch als Nebenbrenner 5 bezeichnet. Üblicherweise werden die Hauptbrenner 4 fetter als die Nebenbrenner 5 betrieben. Dementsprechend weisen die Hauptbrenner 4 regelmäßig einen größeren Abstand zur Magerlöschgrenze der Verbrennungsreaktion auf als die Nebenbrenner 5. Aufgrund des gegebenen exponentiellen Zusammenhangs zwischen NO_x und Feuerungstemperatur produzieren die Hauptbrenner 4 deutliche mehr NO_x als die Nebenbrenner 5. Im Unterschied zur hier gewählten Darstellung ist die Anzahl der Hauptbrenner 4 üblicherweise größer als die Anzahl der Nebenbrenner 5. Jedenfalls haben die Hauptbrenner 4 einen erheblich größeren Einfluss auf die Verbrennungsreaktion im Brennraum 3 als die Nebenbrenner 5. Eine gleiche Brenneranzahl in beiden Gruppen könnte daher grundsätzlich z.B. durch eine unterschiedliche Dimensionierung der Hauptbrenner 4 und der Nebenbrenner 5 hinsichtlich unterschiedlicher Massendurchsätze erzielt werden.

[0016] Für die Versorgung der Brenner 2 mit Brenn-

stoff ist eine Brennstoffversorgungsanlage 6 vorgesehen, die über eine entsprechende Gesamtleitung den Brennern 2 einen Brennstoffgesamtstrom 7 zuführt. Dieser Brennstoffgesamtstrom wird dabei von der Brennstoffversorgungsanlage 6 in einen den Hauptbrennern der Hauptgruppe zugeordneten Brennstoffhauptstrom 8 und einen den Nebenbrennern 5 der Nebengruppe zugeordneten Brennstoffnebenstrom 9 aufgeteilt. Entsprechende Verteilereinrichtungen sind hier nicht dargestellt. Die einzelnen Brenner 2 werden von der Brennstoffversorgungsanlage 6 über entsprechende Einzelleitungen mit Brennstoffeinzelsströmen 10 mit Brennstoff versorgt. Dabei kann auch hier zwischen den Hauptbrennern 4 zugeordneten Hauptbrennstoffeinzelsströmen 11 und den Nebenbrennern zugeordneten Nebenbrennstoffeinzelsströmen 12 unterschieden werden.

[0017] Des weiteren ist eine Steuereinrichtung 13 vorgesehen, die zur Betätigung der Brennstoffversorgungsanlage 6 mit dieser gekoppelt ist und die außerdem mit wenigstens einem Pulsationssensor 14 zur Messung von Druckpulsationen in der Brennkammer 1 bzw. im Brennraum 3 verbunden ist. Des weiteren ist die Steuereinrichtung 13 mit wenigstens einem Emissionssensor 15 verbunden, mit dessen Hilfe Schadstoffemissionen in den Abgasen der Brennkammer 1 oder stromab der Turbine erfasst werden können.

[0018] Erfindungsgemäß wird die Gasturbine so betrieben, dass die Brennstoffzufuhr zu den Brennern 2 zumindest für die Aufrechterhaltung eines stationären oder quasi stationären Betriebs der Gasturbine in Abhängigkeit von Druckpulsationen geregelt wird, die in der Brennkammer 1 auftreten.

[0019] Zum besseren Verständnis des erfindungsgemäßen Regelungskonzepts wird noch auf Fig. 1 verwiesen, deren Abszisse das Massenverhältnis von Brennstoff zu Oxidator wiedergibt, das allgemein mit λ bezeichnet wird. Auf der Ordinate sind zum einen Intensität bzw. die Amplituden der Druckpulsationen P und zum anderen die Massenanteile der Schadstoffemissionen E im Abgas der Brennkammer 1 aufgetragen. Das Diagramm gemäß Fig. 1 enthält mit durchgezogener Linie einen Pulsationsverlauf $P_{(\lambda)}$ sowie mit unterbrochener Linie einen Emissionsverlauf $E_{(\lambda)}$, jeweils in Abhängigkeit des Brennstoff/Oxidator-Massenverhältnisses λ . Hierbei ist zu erkennen, dass der Pulsationsverlauf $P_{(\lambda)}$ von links nach rechts, also mit zunehmender Abmagerung des Brennstoff/Oxidator-Verhältnisses λ ansteigt, während im Unterschied dazu der Emissionsverlauf $E_{(\lambda)}$ mit zunehmender Abmagerung, also von links nach rechts abnimmt.

[0020] Das Diagramm gemäß Fig. 1 enthält außerdem einen Maximalwert für Druckpulsationen $P_{\max}$, welcher einen Grenzwert für maximal noch zulässige Druckpulsationen P definiert, sowie einen Minimalwert für Druckpulsationen $P_{\min}$, der einen Grenzwert für minimal zulässige Druckpulsationen P definiert. Des weiteren ist hier noch ein Maximalwert für Schadstoffemissionen $E_{\max}$ eingetragen, der einen für die Schadstoffemissionen maximal zulässigen Grenzwert definiert. Schließlich ist in

das Diagramm noch eine magere Löschgrenze λ_L des Brennstoff/Oxidator-Verhältnisses λ eingetragen, die ein so mageres Brennstoff/Oxidator-Verhältnis λ repräsentiert, dass dabei mit dem Erlöschen der Verbrennungsreaktion gerechnet werden muss. Schließlich ist noch ein Minimalwert für Schadstoffemissionen $E_{\min}$ eingetragen.

[0021] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens kann nun die Gasturbine bzw. deren Brennkammer 1 sehr nahe an der mageren Löschgrenze λ_L , also bei sehr niedrigen Schadstoffemissionen E und dennoch vergleichsweise sicher, also stabil betrieben werden. Durch den Einsatz einer schnell reagierenden Regelung wird der Betrieb der Gasturbine nahe der mageren Löschgrenze deutlich sicherer als im Vergleich zu einer herkömmlichen Steuerung. Hierzu wird über den wenigstens einen Pulsationssensor 14 die Intensität bzw. die Amplitude der in der Brennkammer 1 auftretenden Druckpulsationen ermittelt und mit zumindest einem, insbesondere empirisch bestimmten, Pulsationssollwert P_{soll} verglichen. Die Druckpulsationen P bilden somit die Führungsgröße des hier aufgebauten geschlossenen Regelkreises. In Abhängigkeit der Regelabweichung wird dann die Brennstoffzufuhr der Brenner 2 adaptiert. Da die Oxidatorzufuhr, also die vom Verdichter (nicht gezeigt) kommende Luftströmung im allgemeinen konstant bleibt, wirkt sich die Änderung der Brennstoffzufuhr auf das Brennstoff/Oxidator-Verhältnis λ aus. Aufgrund der mit Bezug auf Fig. 1 erläuterten Abhängigkeit der Druckpulsationen P vom Brennstoff/Oxidator-Verhältnis λ führt die Änderung der Brennstoffzufuhr auch zu einer entsprechenden Änderung der Druckpulsationen P . Hier schließt sich der Regelkreis.

[0022] Bevorzugt wird die Regelung der Brennstoffzufuhr so durchgeführt, dass sich bezüglich des Pulsationssollwertes P_{soll} eine proportionale Regelung einstellt. Vorzugsweise soll die Regelung nach Art eines PI-Reglers durchgeführt werden. Zweckmäßig wird der Pulsationssollwert P_{soll} so gewählt, dass er sich möglichst nahe am Pulsationsmaximalwert $P_{\max}$ befindet.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform arbeitet das erfindungsgemäße Betriebsverfahren so, dass bei Erreichen des Maximalwerts der Druckpulsationen $P_{\max}$ oder beim Übersteigen des Sollwerts P_{soll} der Druckpulsation P die Brennstoffzufuhr zu einem oder mehreren Brennern 2 angefettet wird, insbesondere um einen vorbestimmten Wert. Das bedeutet, dass der aktuelle Betriebspunkt dann vom Pulsationssollwert P_{soll} bzw. vom Schnittpunkt zwischen dem Druckpulsationsverlauf $P_{(\lambda)}$ und dem Pulsationsmaximalwert $P_{\max}$ entlang des Pulsationsverlaufs $P_{(\lambda)}$ nach links, also in Richtung Anfettung wandert. Da die Druckpulsationen P im Pulsationsmaximalwert $P_{\max}$ einen vorbestimmten minimalen Abstand zur mageren Löschgrenze λ_L aufweisen, wird durch die Anfettung der Brennstoffzufuhr der Abstand zur mageren Löschgrenze λ_L (nach links) vergrößert.

[0024] Des weiteren kann das Betriebsverfahren so ausgestaltet sein, dass es bei Erreichen des Pulsationsminimalwerts $P_{\min}$ oder beim Absinken unter den Pulsa-

tionssollwert P_{soll} die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem der Brenner 2 abmagert, insbesondere um einen vorbestimmten Wert. Dies hat zur Folge, dass der aktuelle Betriebszustand dann vom Pulsationssollwert P_{soll} bzw. vom Schnittpunkt zwischen Pulsationsminimalwert P_{min} und Pulsationsverlauf $P_{(\lambda)}$ nach rechts, also in Richtung Abmagerung entlang des Pulsationsverlaufs $P_{(\lambda)}$ wandert. Mit Hilfe des Pulsationsminimalwerts P_{min} wird dabei ein maximaler Abstand zur mageren Löschgrenze λ_L definiert, der zur Gewährleistung niedriger Schadstoffemissionen E nicht überschritten werden soll. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, ist der Pulsationsminimalwert P_{min} zweckmäßig so gewählt, dass in diesem Bereich etwa auch der Emissionsmaximalwert E_{max} liegt.

[0025] Mit Hilfe des Pulsationsmaximalwerts P_{max} und des Pulsationsminimalwerts P_{min} wird somit ein Betriebsfenster F für den Betrieb der Brennkammer 1 in Abhängigkeit der Druckpulsationen P definiert. In diesem Betriebsfenster F kann die Brennkammer 1 sicher, also stabil betrieben werden, wobei stets ein möglichst kleiner, jedoch hinreichender Abstand von der mageren Löschgrenze λ_L gewährleistet werden kann. Des weiteren wird auch erreicht, dass sich die Schadstoffemissionen E stets zwischen dem Maximalwert der Schadstoffemissionen E_{max} und dem Minimalwert der Schadstoffemissionen E_{min} bewegen.

[0026] Optional kann zur Überwachung der Druckpulsationen P zusätzlich eine Überwachung der Schadstoffemissionen E durchgeführt werden. Die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem der Brenner 2 kann dann außerdem in Abhängigkeit der Schadstoffemissionen E geregelt werden. Gedacht ist dabei vor allem an eine Regelung, bei welcher die Brennstoffzufuhr bei wenigstens einem Brenner 2 dann abgemagert wird, wenn die Schadstoffemissionen E den Emissionsmaximalwert E_{max} erreichen. Durch die Abmagerung wandert der Betriebszustand vom Schnittpunkt zwischen Emissionsmaximalwert E_{max} und Emissionsverlauf $E_{(\lambda)}$ nach rechts, also in Richtung Abmagerung entlang des Emissionsverlaufs $E_{(\lambda)}$.

[0027] Da der Emissionsmaximalwert E_{max} und der Pulsationsminimalwert P_{min} zweckmäßig demselben Brennstoff/Oxidator-Verhältnis λ zugeordnet sind, kann die Überwachung der unteren Grenze des Betriebsfensters F wahlweise anhand des Emissionsmaximalwerts E_{max} oder des Pulsationsminimalwerts P_{min} erfolgen. Da jedoch der Absolutwert des Pulsationsminimalwerts P_{min} vergleichsweise klein ist, kann es zu Messfehlern kommen, so dass hier die Überwachung der Schadstoffemissionen E bei bestimmten Randbedingungen zu genaueren Ergebnissen führen kann. Bevorzugt wird jedoch eine kumulative Anwendung der beiden Führungsgrößen, wobei die Brennstoffzufuhr immer dann abgemagert wird, wenn zumindest eine der beiden Führungsgrößen ihren jeweiligen Grenzwert, also entweder den Emissionsmaximalwert E_{max} oder den Pulsationsminimalwert P_{min} erreicht.

[0028] Durch die Kombination der beiden Regelver-

fahren kann auch der Fall abgedeckt werden, dass sich der Zusammenhang zwischen den Schadstoffemissionen E und den Druckpulsationen P im Verlauf des Betriebs der Gasturbine verändert.

[0029] Zum Anfetten und zum Abmagern der Brennstoffzuführung der Brenner 2 kann grundsätzlich der Brennstoffgesamtstrom 7 entsprechend erhöht oder erniedrigt werden. Insbesondere wird dabei die Brennstoffversorgung aller Brenner 2 im wesentlichen gleichmäßig abgemagert bzw. angefettet. Durch die Änderung des Brennstoffgesamtstroms 7 ändert sich jedoch die Leistung der Gasturbine, was nicht in jedem Fall erwünscht ist. Vielmehr soll eine Gasturbine regelmäßig mit konstanter Last betrieben werden. Bevorzugt wird daher eine Ausführungsform, bei welcher zum Reduzieren der Druckpulsationen die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern 4 angefettet wird, während die Brennstoffzufuhr zu den Nebenzubrennern 5 abgemagert wird. Die Anfettung der Hauptbrenner 4 und die Abmagerung der Nebenzubrenner 5 wird dabei so durchgeführt, dass der Brennstoffgesamtstrom 7 konstant bleibt. Erreicht wird dies durch eine entsprechende andere Aufteilung des Brennstoffgesamtstroms 7 auf den Brennstoffhauptstrom 8 und den Brennstoffnebenstrom 9. Da der Verbrennungsprozess im Brennraum 3 durch die Hauptbrenner 4 dominiert und somit im wesentlichen durch diese definiert ist und sich daher die Nebenzubrenner 5 z.B. aufgrund ihrer kleineren Anzahl und/oder aufgrund ihrer kleineren Dimensionierung weniger stark auf den Verbrennungsprozess auswirken als die Hauptbrenner 4, überwiegen die Auswirkungen der Anfettung der Hauptbrenner 4, so dass die Druckpulsationen abnehmen.

[0030] Zusätzlich oder alternativ können - je nach Grad der Anfettung - auch wenigstens einer der Nebenzubrenner 5 ausgeschaltet und die Hauptbrenner 4 gleichzeitig so weit angefettet werden, dass der Brennstoffgesamtstrom 7 konstant bleibt. Auch diese Maßnahme führt zu einer Absenkung der Druckpulsationen. Die vorbeschriebenen alternativ oder kumulativ anwendbaren Maßnahmen zur Absenkung der Druckpulsationen P können im Rahmen des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens dazu genutzt werden, bei Erreichen des Pulsationsmaximalwerts P_{max} den Abstand zur mageren Löschgrenze λ_L wieder zu vergrößern.

[0031] Zum Anheben der Druckpulsationen P bzw. zum Absenken der Schadstoffemissionen E kann dann auf entsprechende Weise vorgegangen werden. Beispielsweise wird hierzu die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern 4 abgemagert, während die Brennstoffzufuhr zu den Nebenzubrennern 5 angefettet wird, wobei Abmagerung und Anfettung so aufeinander abgestimmt sind, dass der Brennstoffgesamtstrom 7 konstant bleibt. Sofern bei Erreichen des Pulsationsminimalwerts P_{min} bzw. bei Erreichen des Emissionsmaximalwerts E_{max} zumindest einer der Nebenzubrenner 5 ausgeschaltet ist, kann zusätzlich oder alternativ zur vorstehend beschriebenen Maßnahme zumindest einer der Nebenzubrenner 5 zugeschaltet werden, während gleichzeitig die Brenn-

stoffzufuhr zu den Hauptbrennern 4 so weit abgemagert wird, dass wiederum der Brennstoffgesamtstrom 7 konstant bleibt.

[0032] Die Brennstoffeinzelsströme 10 können dabei über einzelne Leitungen den einzelnen Brennern 2 zugeführt werden. Ebenso ist es möglich, für die Hauptbrennstoffeinzelsströme 11 und für die Nebenbrennstoffeinzelsströme 12 separate gemeinsame Zuführungsleitungen, insbesondere Ringleitungen, vorzusehen, von denen einzelne Versorgungsleitungen zu den Hauptbrennern 4 bzw. zu den Nebenbrennern 5 abzweigen.

[0033] Bei der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform sind die einzelnen Brenner 2, also die Hauptbrenner 4 und die Nebenbrenner 5 derselben Brennerstufe zugeordnet. Ebenso ist es möglich, die Hauptbrenner 4 und die Nebenbrenner 5 unterschiedlichen Brennerstufen zuzuordnen. Die Hauptgruppe der Brenner 2 bildet dann eine Hauptstufe, während die Nebengruppe der Brenner 2 eine Nebenstufe bildet. Beispielsweise kann die Hauptstufe eine Vormischstufe eines Vormischbrenners sein, während die Nebenstufe eine Pilotstufe ist, die z.B. in Form einer Lanze im Vormischbrenner ausgebildet sein kann. Dementsprechend zeigt Fig. 3 beispielhaft einen Vormischbrenner, dessen Vormischstufe den Hauptbrenner 4 bildet und dessen Pilotstufe den Nebenbrenner 5 bildet. Die Brennkammer 1 weist üblicherweise mehrere derartige Vormischbrenner auf, wodurch auch ein Mehr-Brenner-System vorliegt. Der Nebenbrenner 5 der Pilotstufe erzeugt eine Pilotflamme 16, die im wesentlichen zur Stabilisierung der Flammenfront dient. Im Unterschied dazu erzeugt der Hauptbrenner 4 der Vormischstufe einer Vormischflamme 17. Während die Vormischflamme 17 in der Regel zu relativ niedrigen Schadstoffemissionen E führt und dafür vergleichsweise hohe Druckpulsationen P erzeugt, verursacht die Pilotflamme 16 höhere Schadstoffemissionen E bei gleichzeitig niedrigeren Druckpulsationen P.

[0034] Das zuvor beschriebene Regelungskonzept kann nun ohne weiteres auf das hier gezeigte mehrstufige Brennerprinzip angewendet werden, um auch hier die Brennkammer 1 möglichst nahe an der mageren Löschgrenze λ_L sicher betreiben zu können.

Bezugszeichenliste

[0035]

- | | |
|----|-----------------------------|
| 1 | Brennkammer |
| 2 | Brenner |
| 3 | Brennraum |
| 4 | Hauptbrenner |
| 5 | Nebenbrenner |
| 6 | Brennstoffversorgungsanlage |
| 7 | Brennstoffgesamtstrom |
| 8 | Brennstoffhauptstrom |
| 9 | Brennstoffnebenstrom |
| 10 | Brennstoffeinzelsstrom |
| 11 | Hauptbrennstoffeinzelsstrom |

- | | |
|----|-----------------------------|
| 12 | Nebenbrennstoffeinzelsstrom |
| 13 | Steuereinrichtung |
| 14 | Pulsationssensor |
| 15 | Emissionssensor |
| 16 | Pilotflamme |
| 17 | Vormischflamme |

- | | |
|-----------------|--|
| P | Druckpulsation |
| $P_{(\lambda)}$ | Pulsationsverlauf |
| $P_{\max}$ | Maximalwert für die Druckpulsationen |
| $P_{\min}$ | Minimalwert für die Druckpulsationen |
| E | Schadstoffemission |
| $E_{(\lambda)}$ | Emissionsverlauf |
| $E_{\max}$ | Maximalwert für die Schadstoffemissionen |
| $E_{\min}$ | Minimalwert für die Schadstoffemissionen |
| λ | Brennstoff/Oxidator-Verhältnis |
| λ_L | magere Löschgrenze |
| F | Betriebsfenster |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage mit Mehr-Brenner-System zur Heißgaserzeugung, insbesondere Gasturbine, vorzugsweise einer Kraftwerksanlage,
 - wobei die Feuerungsanlage eine Brennkammer (1) mit mehreren Brennern (2) aufweist,
 - bei dem die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) für einen stationären Betrieb der Feuerungsanlage in Abhängigkeit von in der Brennkammer (1) auftretenden Druckpulsationen (P) geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung der Brennstoffzufuhr bezüglich eines einstellbaren oder vorbestimmten Sollwerts (P_{soll}) der Druckpulsationen (P) proportional erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen eines vorbestimmten oder einstellbaren Maximalwerts ($P_{\max}$) für die Druckpulsationen (P) oder beim Überschreiten des Sollwerts (P_{soll}) der Druckpulsationen (P) die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) angefettet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen eines vorbestimmten oder einstellbaren Minimalwerts ($P_{\min}$) für die Druckpulsationen (P) oder beim Unterschreiten des Sollwerts (P_{soll}) der Druckpulsationen (P) die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) abgemagert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **da-**

durch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) außerdem in Abhängigkeit von in den Abgasen der Brennkammer (2) auftretenden Schadstoffemissionen (E) geregelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen eines vorbestimmten oder einstellbaren Maximalwerts ($E_{\max}$) für die Schadstoffemissionen (E) die Brennstoffzufuhr zu wenigstens einem Brenner (2) um einen vorbestimmten Wert abgemagert wird. 5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** 10
 - **dass** die Brennkammer (1) mehrere Brenner (2) aufweist, denen eine Brennstoffversorgungsanlage (6) jeweils einen Brennstoffeinzelfstrom (10) zuführt, wobei alle Brennstoffeinzelfströme (10) zusammen einen Brennstoffgesamtstrom (7) bilden, 15
 - **dass** die Brenner (2) in eine Hauptgruppe mit mehreren Hauptbrennern (4) und eine Nebengruppe mit mehreren Nebenbrennern (5) unterteilt sind. 20

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen des Maximalwerts ($P_{\max}$) für die Druckpulsationen (P) die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern (4) angefettet und die Brennstoffzufuhr zu den Nebenbrennern (5) so abgemagert wird, dass der Brennstoffgesamtstrom (7) konstant bleibt. 25

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen des Maximalwerts ($P_{\max}$) für die Druckpulsationen (P) zumindest einer der Nebenbrenner (5) ausgeschaltet und die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern (4) so weit angefettet wird, dass der Brennstoffgesamtstrom (7) konstant bleibt. 30

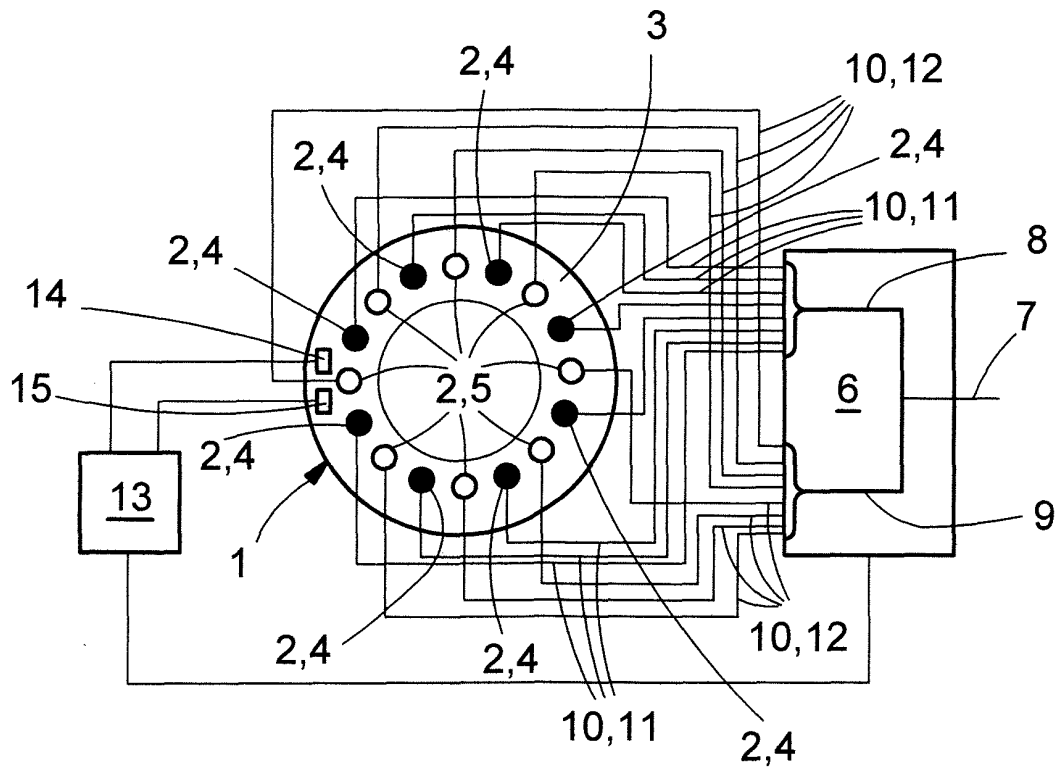
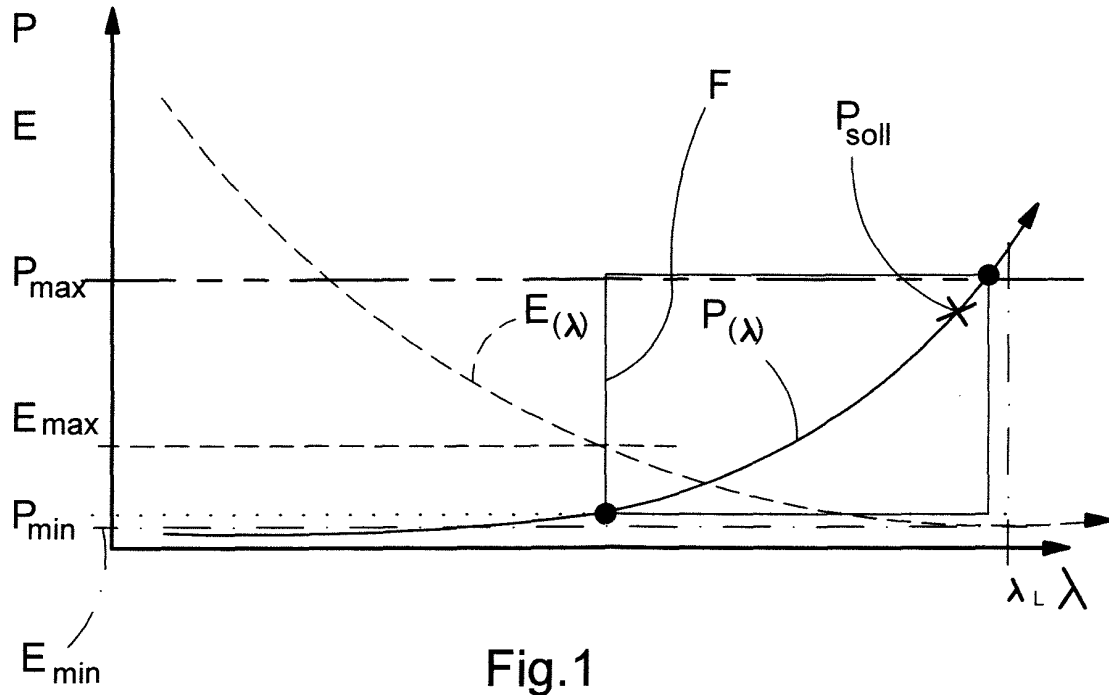
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen des Minimalwerts ($P_{\min}$) für die Druckpulsationen (P) und/oder bei Erreichen des Maximalwerts ($E_{\max}$) für die Schadstoffemissionen (E) die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern (4) abgemagert und die Brennstoffzufuhr zu den Nebenbrennern (5) so angefettet wird, dass der Brennstoffgesamtstrom (7) konstant bleibt. 35

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Erreichen des Minimalwerts ($P_{\min}$) für die Druckpulsationen (P) und/oder bei Erreichen des Maximalwerts ($E_{\max}$) für die Schadstoffemissionen (E) zumindest einer der 40

Nebenbrenner (5) zugeschaltet und die Brennstoffzufuhr zu den Hauptbrennern (4) so weit abgemagert wird, dass der Brennstoffgesamtstrom (7) konstant bleibt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Hauptbrenner (4) und die Nebenbrenner (5) derselben Brennerstufe zugeordnet sind, oder
- **dass** die Hauptbrenner (4) und die Nebenbrenner (5) verschiedener Brennstoffstufen, z.B. einer Vormischstufe und einer Pilotstufe, zugeordnet sind. 45



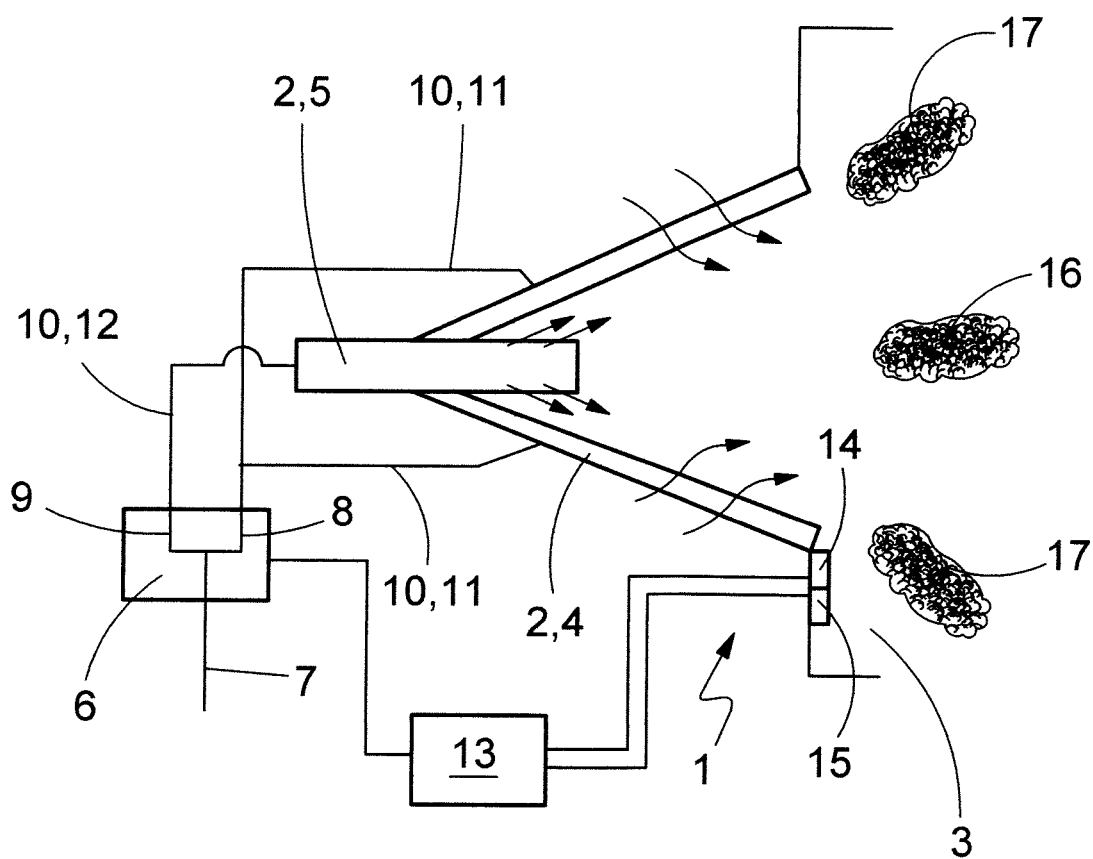


Fig.3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 10 6361

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	DE 196 36 093 A1 (SIEMENS AG, 80333 MUENCHEN, DE; SIEMENS AG) 12. März 1998 (1998-03-12)	1,7,12	F23D14/72 F23R3/28
A	* Spalte 6, Zeile 10 - Spalte 8, Zeile 28; Abbildungen 1,2 *	8-11	

X	EP 1 286 031 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD) 26. Februar 2003 (2003-02-26)	1,7,12	
A	* Absatz [0056] - Absatz [0089]; Abbildung 1 *	3,4,8-11	

X	DE 101 04 151 A1 (ALSTOM LTD., BADEN) 5. September 2002 (2002-09-05)	1,5	
	* Absätze [0015] - [0019], [0041], [0046]; Ansprüche 6,7; Abbildungen 1,2 *		

X	EP 1 327 824 A (ABB SCHWEIZ AG) 16. Juli 2003 (2003-07-16)	1,5	
	* Absätze [0002], [0014], [0015] *		

E	WO 2005/093326 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; FLOHR PETER [CH]; NI ALEXANDER [CH]; PATEL) 6. Oktober 2005 (2005-10-06)	1,3,4	
	* Seite 1, Absatz 2 - Seite 2, Absatz 1 *		
	* Seite 2, Absatz 3 - Seite 4, Absatz 1 *		
	* Seite 5, Zeile 7 - Seite 10, Zeile 24; Abbildungen 1-3 *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			F23D F23R
5 Recherchenort München Abschlußdatum der Recherche 3. November 2005 Prüfer Theis, G			
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 : mündliche 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 05 10 6361

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.

03-11-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19636093 A1	12-03-1998	WO 9810226 A1	12-03-1998
		EP 0925473 A1	30-06-1999
		JP 2000517407 T	26-12-2000
		US 6202401 B1	20-03-2001
EP 1286031 A	26-02-2003	CA 2398522 A1	23-02-2003
		CN 1401888 A	12-03-2003
		JP 2003065082 A	05-03-2003
		US 2004011020 A1	22-01-2004
DE 10104151 A1	05-09-2002	EP 1364161 A1	26-11-2003
		WO 02061335 A1	08-08-2002
		US 2005084811 A1	21-04-2005
EP 1327824 A	16-07-2003	KEINE	
WO 2005093326 A	06-10-2005	DE 102004015186 A1	20-10-2005

EPO FORM P0461

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