



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.11.2002 Patentblatt 2002/45

(51) Int Cl.7: **F23D 11/36**

(21) Anmeldenummer: **01810429.9**

(22) Anmeldetag: **01.05.2001**

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

(72) Erfinder: **Weisenstein, Wolfgang**
5453 Remetschwil (CH)

(74) Vertreter: **ABB Patent Attorneys**
c/o ABB Schweiz AG
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden (CH)

(71) Anmelder: **ABB Schweiz AG**
5400 Baden (CH)

(54) **Schwingungsreduktion in einer Brennkammer**

(57) Eine erfindungsgemässe Brennkammer weist eine Anzahl b_0 von ringförmig angeordneten Brennern auf, von denen eine Anzahl k von modulierbaren Brennern Mittel zur Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, wobei $k < b_0$ ist und die modulierbaren Brenner derart angeordnet sind, dass zwischen jedem Paar von benachbarten modulierbaren Brennern je a_1, a_2, \dots, a_k nicht modulierbare Brenner angeordnet sind, und dass die Werte $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein grösster Wert von

$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$

maximal, wobei kgV das kleinste gemeinsame Vielfache bezeichnet..

Dadurch wird es möglich, mit einer minimalen Anzahl von modulierbaren Brennern eine maximale Anzahl von azimuthalen Schwingungsmodi der Brennkammer zu dämpfen. Jedes Paar von modulierbaren Brennern ruft mindestens eine unerwünschte Schwingung oder Instabilität hervor, die aber durch den oder die erfindungsgemäss angeordneten andern modulierbaren Brenner gedämpft wird.

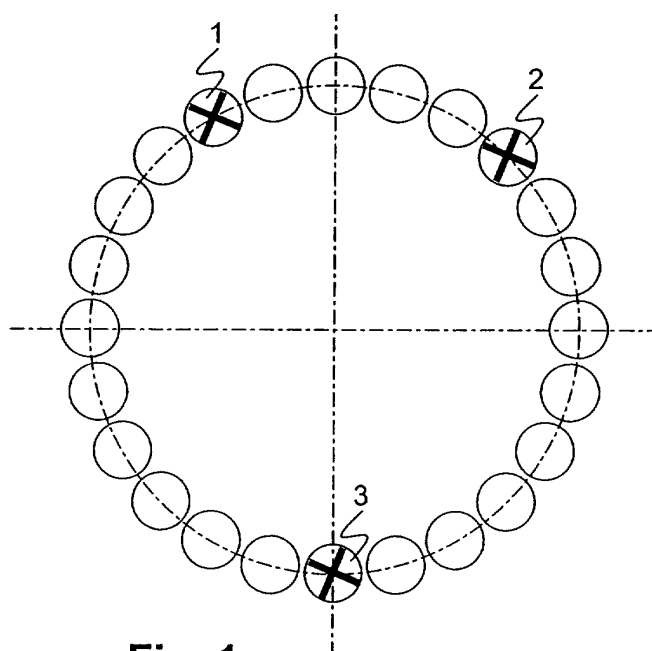


Fig. 1

Beschreibung**Technisches Gebiet**

5 **[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der thermischen Turbomaschinen. Sie bezieht sich auf eine Brennkammer und ein Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen in einer Brennkammer gemäss dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 9.

Stand der Technik

10 **[0002]** In Ringbrennkammern von Strömungsmaschinen bilden sich unter bestimmten Betriebszuständen selbsterregte Druckschwingungen, die ihre Ursache in einer gegenseitigen Beeinflussung von thermoakustischen Druckpulsationen und lokaler Wärmefreisetzung haben. Eine solche Druckschwingung wird als selbsterregte Brennkammerpulsation oder als Instabilität bezeichnet und stellt bei modernen Industriegasturbinen ein grosses Problem dar, da diese eine Vormischverbrennung verwenden. Bei der Vormischverbrennung werden ein Brennstoff und Luft vor der Verbrennung möglichst homogen vermischt und erst nach der Mischung gezündet. Die Verbrennung soll möglichst mager stattfinden, um NO_x-Emissionen zu verringern. Diese magere Verbrennung bedingt aber auch eine niedrige Flammentemperatur und erschwert eine Stabilisierung der Flamme. Dies trifft vor allem, aber nicht nur, auf drallstabilisierte Vormischbrenner zu. Sind mehrere Brenner in einer Ringbrennkammer angeordnet, so kann es zu azimuthalen, das heisst entlang des Brennkammerumfangs wirksamen Verbrennungspulsationen kommen. Die aus diesen Verbrennungspulsationen resultierenden Druckamplituden können Grössen erreichen, welche die mechanische Integrität der Maschine gefährden. Dies ist unerwünscht und wird durch verschiedene Massnahmen zu verhindern versucht.

20 **[0003]** Eine bekannte Methode zur Unterdrückung thermoakustischer Schwingungen ist ein Einbau von sogenannten Helmholtz-Resonatoren, wie in "Technische Akustik", Ivar Veit, Vogel Buchverlag, 1996, Seite 84, gezeigt wird. Diese Helmholtz-Resonatoren haben jedoch den Nachteil, dass sie nur für eine vorgegebene Frequenz ausgelegt sind, und dass bei einem Aufkommen weiterer Pulsationen mit anderen Frequenzen weitere, für diese Frequenzen ausgelegte Resonatoren eingebaut werden müssen.

Darstellung der Erfindung

30 **[0004]** Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, eine Brennkammer und ein Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen in einer Brennkammer der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die oben genannten Nachteile behebt.

[0005] Diese Aufgabe lösen eine Brennkammer und ein Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen in einer Brennkammer mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 9.

35 **[0006]** Die erfindungsgemässe Brennkammer weist also eine Anzahl b_0 von ringförmig angeordneten Brennern auf, von denen eine Anzahl k von modulierbaren Brennern Mittel zur Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, wobei $k < b_0$ ist und die modulierbaren Brenner derart angeordnet sind, dass zwischen je zwei modulierbaren Brennern je a_1, a_2, \dots, a_k nicht modulierbare Brenner angeordnet sind, und dass die Werte $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind.

40 **[0007]** Dadurch wird es möglich, mit einer minimalen Anzahl von modulierbaren Brennern eine maximale Anzahl von azimuthalen Schwingungsmodi zu dämpfen. Es ist beim gegenwärtigen Stand der Technik nicht möglich, das Auftreten einer azimuthalen Verbrennungsschwingung während der Designphase der Brennkammer zweifelsfrei vorherzusagen. Jedes Paar von modulierbaren Brennern kann deshalb mindestens eine unerwünschte Schwingung oder Instabilität hervorrufen, die aber durch den oder die erfindungsgemäss angeordneten andern modulierbaren Brenner gedämpft wird.

45 **[0008]** In einer bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes ist ein grösster Wert von

50
$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$$

maximal, wobei kgV das kleinste gemeinsame Vielfache bezeichnet.

[0009] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes beträgt die Anzahl k der modulierbaren Brenner mindestens drei.

55 **[0010]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes sind die a_1, a_2, \dots, a_k voneinander verschieden.

[0011] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Erfindungsgegenstandes sind auch Abstände zwischen modulierbaren Brennern berücksichtigt, zwischen denen genau ein modulierbarer Brenner angeordnet ist: Die modu-

lierbaren Brenner sind also derart angeordnet, dass ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots \text{kgV}(b_0, a_k+1),$$

5

$$\text{kgV}(b_0, a_1+a_2+2), \text{kgV}(b_0, a_2+a_3+2), \dots \text{kgV}(b_0, a_k+a_1+2)$$

maximal ist.

10 **[0012]** Diese bevorzugten Ausführungsformen haben den Vorteil, dass sie Eigenfrequenzen von Schwingungen oder Modi, welche entsprechend der Anordnung der modulierbaren Brenner noch auftreten können, weiter erhöhen.

[0013] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die modulierbaren Brenner derart ausgebildet, dass sie ihren Brennstoffmassenstrom mit Frequenzen modulieren, welche von Eigenfrequenzen von Modi, die aufgrund der Anordnung der modulierbaren Brenner entstehen, verschieden sind. Alle modulierten Brenner haben
15 jeweils die Eigenschaft, dass ihre Modulationsfrequenzen von der durch die geometrischen und thermo-physikalischen Gegebenheiten der Brennkammer bestimmten, natürlichen Instabilitätsfrequenz der Brennkammer verschieden sind.

[0014] Im erfindungsgemässen Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen in einer annularen Brennkammer mit mehreren ringförmig angeordneten Brennern, von denen mehrere modulierbare Brenner Mittel zur
20 Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, wobei die Anzahl von Brennern b_0 beträgt, wird in einer Anzahl k der modulierbaren Brenner der Brennstoffmassenstrom moduliert, wobei diese modulierten Brenner derart angeordnet sind, dass zwischen je zwei modulierten Brennern je a_1, a_2, \dots, a_k nichtmodulierte Brenner angeordnet sind, und die Abstände der Brenner $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind.

[0015] Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt, in einer Brennkammer welche mit mehreren modulierbaren Brennern ausgerüstet ist, eine Dämpfung von Verbrennungspulsationen zu bewirken. In einer bevorzugten Variante der
25 Erfindung geschieht dies durch Verwendung konstanter Modulationsfrequenzen, so dass im Betrieb der Brennkammer keine Messung von Pulsationen und eine aufwendige Regelung erforderlich sind.

[0016] Weitere bevorzugte Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

30 **[0017]** Im folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer mit 24 Brennern gemäss
35 der Erfindung;
- Figur 2 schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer mit 20 Brennern gemäss der Erfindung;
- Figur 3 schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer gemäss der Erfindung, wobei Brenner in radialer Richtung gegeneinander versetzt sind; und
- 40 Figur 4 schematisch eine Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer gemäss der Erfindung, welche zwei konzentrische ringförmige Anordnungen bilden.

[0018] Die in den Zeichnungen verwendeten Bezugszeichen und deren Bedeutung sind in der Bezugszeichenliste zusammengefasst aufgelistet. Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

45

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0019] Figur 1 zeigt schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer mit 24 Brennern. Brenner sind schematisch durch Kreise dargestellt, modulierbare Brenner 1,2,3 sind durch Kreise mit einem
50 Kreuz dargestellt. Die Brennkammer ist Teil einer thermischen Turbomaschine oder Strömungsmaschine, insbesondere einer Industriegasturbine. Die Brennkammer ist vorzugsweise eine Ring- oder auch eine Ringrohrbrennkammer das heisst, ihr Feuerungsraum umschliesst einen Rotor der Gasturbine.

[0020] Unter einem Brenner oder Einzelbrenner wird im folgenden ein System zur Brennstoffzuführung, zur Einbringung des Brennstoffes in ein Arbeitsmedium, zur Vermischung des Brennstoffes mit dem Arbeitsmedium und gegebenenfalls zur Stabilisierung einer Flamme verstanden. Zur Erfüllung dieser Funktionen weist ein Brenner beispielsweise
55 ein Flammrohr, eine Anordnung zur Drallstabilisierung der Flamme oder eine Brennstofflanze auf. Bei einem modulierbaren Brenner 1,2,3 wird ein Mittel zur Modulation des Brennstoffmassenstroms ebenfalls als Bestandteil des Brenners betrachtet.

[0021] Ein modulierbarer Brenner 1,2,3 weist beispielsweise ein Hauptventil und als Modulationsmittel ein parallel dazu geschaltetes Modulationsventil auf, welche dem Brenner den Brennstoffmassenstrom zuführen. Dabei wird das Hauptventil auf einen Massenstrom eingestellt, der unter einem Nennmassenstrom des Brenners liegt. Mit dem Modulationsventil wird ein zusätzlicher, mit einer Anregungsfrequenz von 0.1 bis 1000 Hz periodisch modulierter, Massenstrom addiert, so dass der gesamte Massenstrom des Brenners periodisch um einen Mittelwert in Höhe des Nennmassenstroms schwankt. Dadurch wird der Verbrennungsprozess in der Brennkammer zu einer periodischen Schwankung angeregt, welche selber unschädlich ist, jedoch den durch störende Verbrennungsschwankungen hervorgerufenen periodischen Druckfluktuationen Energie entziehen, so dass diese gedämpft werden. Bei kleinen Brennstoffmassenströmen kann die Brennstoffmodulation auch durch ein einzelnes geeignetes Brennstoffventil pro moduliertem Brenner geschehen.

[0022] Der Nennmassenstrom des Brennstoffs wird durch eine überlagerte Regelung der Gasturbine vorgegeben, welche beispielsweise Leistung, Drehzahl und/oder Temperaturen der Gasturbine regelt und überwacht.

[0023] In einer anderen Ausführungsform der Erfindung weisen mehrere Brenner ein gemeinsames Hauptventil auf, und weisen einzelne modulierbare Brenner 1,2,3 je ein zugeordnetes Modulationsventil zur Hinzufügung eines modulierten Massenstroms auf.

[0024] Die Anordnung gemäss Figur 1 weist $b_0=24$ Brenner auf, wovon in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung $k=3$ Brenner modulierbar sind, also ein erster modulierbarer Brenner 1, ein zweiter modulierbarer Brenner 2 und ein dritter modulierbarer Brenner 3.

[0025] Erfindungsgemäss ist nur ein Teil der Brenner, vorzugsweise weniger als die Hälfte oder weniger als ein Viertel der Brenner, modulierbar, und sind die modulierbaren Brenner derart angeordnet, dass zwischen jedem Paar von benachbarten modulierbaren Brennern je a_1, a_2, \dots, a_k nicht modulierbare Brenner angeordnet sind, und dass die Werte $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$$

maximal, wobei kgV das kleinste gemeinsame Vielfache bezeichnet. Die Summe $a_1+a_2+\dots+a_k$ beträgt immer b_0 .

[0026] In der vorliegenden Ausführungsform ist $a_1=4, a_2=8, a_3=9$. Die kleinsten gemeinsamen Vielfachen von $\{b_0, a_1+1\}, \{b_0, a_2+1\}, \{b_0, a_3+1\}$ betragen hier 120, 72 und 120. Der grösste dieser Werte ist also 120. Azimuthale akustische Schwingungen breiten sich in Ringbrennkammern stets in solchen Moden aus, dass sich ein oder mehrere Druckknoten an solchen Brennern einstellen, die aufgrund nicht beeinflussbarer Strömungsvorgänge über ein dafür geeignetes Strömungsfeld verfügen. Die sich einstellende Mode wird dabei durch die aus maschinenbautechnischen Gründen meist symmetrische Anordnung der Brenner bestimmt. Die möglichen Instabilitätsfrequenzen ergeben sich aus der Brennkammerazimuthalen, die der Länge einer Vollwelle entspricht, bzw. deren ganzzahligen Teilern und Vielfachen. Meist stellt sich eine Mode ein, deren Schwingungsvorgänge vollständig auf 360° der Brennkammerazimuthalen verlaufen. Gemäss der akustisch-physikalischen Theorie kann sich eine azimuthale thermoakustische Schwingung in einer Ringbrennkammer auch in einer Mode ausbreiten, welche die Druckschwingung um mehr als 360° um die Azimuthale der Brennkammer herumlaufen lässt, bis sich wieder ein Druckknoten einstellen muss. Im Sinne der Erfindung stellt das kleinste gemeinsame Vielfache hier eine minimale Lauflänge, gemessen in einer Anzahl von Brennerdurchmessern, einer sich einstellenden Druckschwingung dar, nach der sich zum ersten Mal wieder ein Druckknoten einstellen kann. Da grosse Wellenlängen naturgemäss eine geringere Energie, hier eine geringere Druckamplitude, haben, kann der Sinn der Erfindung, die nachhaltige Reduktion der Druckfluktuationsamplituden, um so besser erreicht werden, je grösser das kleinste gemeinsame Vielfache ist.

[0027] Die Erfindung funktioniert wie folgt: Der erste modulierbare Brenner wird mit einer Frequenz angeregt, der von einer Eigenfrequenz einer azimuthalen Schwingung der Brennkammer verschieden ist. Dadurch wird eine Schwingung mit dieser Eigenfrequenz gedämpft und werden Schäden vermieden, die durch diese Schwingung hervorgerufen würden. Ist nur ein erster modulierbarer Brenner 1 vorhanden, so bedeutet dieses Vorhandensein eine Asymmetrie der Brennkammer mit ansonsten nicht modulierten Brennern. Diese Asymmetrie führt in der Regel zu einer azimuthalen Pulsation mit einer räumlichen Wellenlänge, die gleich dem Umfang der Brennkammer ist und welche einen Schwingungsknoten an der Stelle des ersten modulierten Brenners 1 aufweist. Diese Schwingung wird auch als (Grund-) Modus des schwingfähigen Systems bezeichnet. Höherfrequente Modi weisen zusätzliche Schwingungsknoten auf, und ihre Wellenlänge ist ein ganzzahliger Teiler der Brennkammerazimuthalen.

[0028] Um die durch den ersten modulierbaren Brenner 1 hervorgerufene Pulsation zu dämpfen, wird der zweite modulierbare Brenner 2 erfindungsgemäss plazierte. Dadurch liegt er nicht in einem Knoten des Grundmodus oder eines der ersten höherfrequenten Modi. Die Wellenlänge des nächsten Modus, der durch die Position des ersten und zweiten modulierbaren Brenners 1,2 beeinflussbar ist, entspricht dem doppelten Abstand zwischen den beiden modulierbaren Brennern.

[0029] Dieser nächste Modus wird durch die erfindungsgemässe Platzierung des dritten modulierbaren Brenners 3 gedämpft. In Abhängigkeit von den genauen geometrischen und physikalischen Verhältnissen in der Brennkammer werden verbleibende Modi durch die Brennkammer selber und ohne aktive Einwirkung gedämpft.

[0030] Je höher die Anzahl der modulierbaren Brenner, desto grösser ist die Gefahr, dass sich zwischen zwei nahe beieinander liegenden modulierten Brennern eine hochfrequente Schwingung einstellen kann, welche die Modulationsfrequenz sogar überlagern kann. Dies ist keine azimuthale Instabilität im Sinne der Erfindung, da die Druckfluktuationen sich zwar auf der Azimuthalen abspielen, aber keine vollständig umlaufende Mode mehr haben. Sie verhalten sich dann eher wie Schwingungen in zwei kommunizierenden Röhren. Dieser Zustand muss auf jeden Fall vermieden werden, da sich hier sehr starke Druckfluktuationen einstellen würden. Also werden so viele modulierbare Brenner wie nötig aber so wenig wie möglich eingesetzt. Dadurch werden die Abstände zwischen den modulierbaren Brennern gross gehalten.

[0031] Um höherfrequente Modi zu dämpfen oder ganz zu unterdrücken, sind eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zu erfüllen:

1. Keiner der Werte $\{a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1\}$ ist ein ganzzahliger Teiler von b_0 .
2. Ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$$

ist maximal.

3. Mindestens drei von beliebig vielen ringförmig angeordneten Brennern sind modulierbare Brenner.

4. Keine der Zahlen a_1, a_2, \dots, a_k sind gleich, also $\forall i, j: a_i \neq a_j$, es sei denn, dass die vorhergehenden Bedingungen sonst nicht erfüllt werden können.

Diese Bedingung bewirkt auch, dass im Normalfall keine Achse existiert, zu welcher die Anordnung der modulierbaren Brenner spiegelsymmetrisch ist. Ist dies unvermeidbar, so muss die Modulationsfrequenz des mittleren Brenners so gewählt werden, dass sie kein ganzzahliger Teiler und auch kein ganzzahliges Vielfaches der natürlichen Instabilitätsfrequenz zwischen den Brennern ist.

5. Die Anordnung der modulierbaren Brenner 1,2,3, ..., k maximiert ein kleinstes gemeinsames Vielfaches von $\{b_0, a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1, a_1+a_2+2, a_2+a_3+2, \dots, a_k+a_1+2\}$. Diese Bedingung bedeutet, dass auch Abstände zwischen modulierbaren Brennern, die nicht benachbart sind, sondern zwischen denen genau ein modulierbarer Brenner liegt, berücksichtigt werden.

[0032] Werte der Parameter k, a_1, a_2, \dots, a_k , welche eine oder mehrere der geforderten Bedingungen erfüllen, werden heuristisch oder mittels nichtlinearer oder stochastischer Optimierungsverfahren ermittelt. In einer einfach zu implementierenden aber rechenaufwendigen Variante werden Werte der Parameter für ein gegebenes b_0 durch systematische Generierung aller möglichen Wertekombinationen und durch Überprüfung der Bedingungen erzeugt. Beispielsweise wird ein Wert für k gewählt, wobei k vorzugsweise 3 ist oder zwischen 2 und 5 liegt. Dann werden zu diesem k systematisch alle Wertekombinationen von a_1, a_2, \dots, a_k gewählt, für welche die Summe

$$a_1+a_2+ \dots +a_k+k = b_0$$

ist. Dieser Schritt wird für verschiedene Werte von k wiederholt. Die Überprüfung der Bedingungen geschieht vorzugsweise, indem zuerst die erste Bedingung entsprechend der obigen Liste überprüft wird. Falls mehrere Wertekombinationen die erste Bedingung erfüllen, werden von diesen Wertekombinationen jene ausgewählt, welche auch die zweite Bedingung erfüllen. Falls mehrere Wertekombinationen auch die zweite Bedingung erfüllen, werden von diesen Wertekombinationen jene ausgewählt, welche auch die dritte Bedingung erfüllen. Das Verfahren wird analog fortgesetzt, bis nur eine somit optimale Wertekombination übrigbleibt und/oder alle Bedingungen berücksichtigt sind. In einer Variante der Erfindung wird die Erfüllung der dritten Bedingung vor der Erfüllung der zweiten Bedingung überprüft.

[0033] Anregungsfrequenzen für die modulierbaren Brenner 1,2,3 werden vorzugsweise unterschiedlich und derart gewählt, dass sie keine der vorliegenden Schwingungsmodi anregen. Die Anregungsfrequenzen sind also von Eigenfrequenzen von Modi, die aufgrund der Anordnung der modulierten Brenner entstehen, verschieden. Typische Frequenzen azimuthaler thermoakustischer Verbrennungsinstabilitäten liegen in gegenwärtigen Ringbrennkammern bei etwa 50 - 80 Hz. Die Modulationsfrequenz kann deutlich niedriger gewählt werden und sollte für das genannte Beispiel bei etwa 20 - 30 Hz liegen. Die praktische Erfahrung zeigt, dass etwa 5% des Brennstoffmassenstroms moduliert werden müssen um eine Instabilität wirksam zu unterdrücken.

[0034] Die Anregungsfrequenzen werden beispielsweise aufgrund von Berechnungen oder von Messungen von Ei-

genfrequenzen während einer Inbetriebnahme der Turbine bestimmt. Diese einmal bestimmten Anregungsfrequenzen werden in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung den modulierbaren Brennern 1,2,3 zugeordnet. In einem Betrieb der Gasturbine wird jeder der modulierbaren Brenner 1,2,3 in einem "open-loop" oder ungeregelten Betrieb mit der jeweiligen Anregungsfrequenz angeregt. Es ist keine Messung von Pulsationen und/oder eine spezielle Regelung zur Ansteuerung der modulierbaren Brenner 1,2,3 aufgrund von Messungen erforderlich.

[0035] Figur 2 zeigt schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer mit 20 Brennern. Darin sind $a_1 = 4$, $a_2 = 7$, $a_3 = 6$.

[0036] Figur 3 zeigt schematisch eine ringförmige Anordnung von Brennern einer Ringbrennkammer, wobei Brenner in radialer Richtung gegeneinander versetzt sind. Solange dieser radiale Versatz relativ klein ist, wird die Anordnung gleich wie eine Anordnung ohne Versatz behandelt und werden modulierbare Brenner 1,2,3 wie oben beschrieben angeordnet. Falls der radiale Versatz grösser ist, kann die Anordnung als zwei konzentrische ringförmige Anordnungen von Brennern betrachtet werden, wie in Figur 4 gezeigt. In dieser Ausführungsform der Erfindung werden Abstände zwischen modulierbaren Brennern 1,2,3,4,5 für jede der beiden konzentrischen Anordnungen einzeln bestimmt. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen die beiden konzentrischen Anordnungen zumindest annähernd dieselben Abstände zwischen modulierbaren Brennern 1,2,3,4,5 auf, wobei die Anordnungen gegeneinander verdreht sind. In dieser Konfiguration ist jedoch zu beachten, dass sich auch zwischen den Brennern des inneren und des äusseren Kreises Verbrennungspulsationen ergeben können und daher auch hier die oben genannten Regeln gelten müssen. Die Vielzahl der eingebauten Brenner verringert hier jedoch drastisch die Anzahl der möglichen Kombinationen, bei denen alle Bedingungen erfüllt werden können. In den meisten Fällen ist dies nicht möglich. In diesen Fällen muss über die Abstände der modulierbaren Brenner zueinander und der Grundfrequenz der Brennkammer die Vorzugsfrequenz der Mode, deren halbe Wellenlänge dem Abstand zweier beliebiger Brenner entspricht bestimmt werden. Diese Frequenz und ihre ganzzahligen Vielfachen bzw. ganzzahligen Teiler gilt es bei der Wahl der Modulationsfrequenz unbedingt zu vermeiden.

[0037] Das erfindungsgemässen Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen wird in einer Brennkammer mit mehreren ringförmig angeordneten Brennern, von denen mehrere modulierbare Brenner Mittel zur Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, ausgeführt. Von den mehreren modulierbaren Brennern werden einzelne, jedoch nicht unbedingt alle, entsprechend der Erfindung moduliert. Es wird also unterschieden zwischen modulierbaren Brennern und tatsächlich gemäss der Erfindung modulierten Brennern. Gemäss der Erfindung wird in einer Anzahl k der modulierbaren Brenner der Brennstoffmassenstrom periodisch moduliert, wobei diese modulierten Brenner derart angeordnet sind, dass zwischen je zwei modulierten Brennern je a_1 , a_2 , ... a_k nichtmodulierte Brenner angeordnet sind, und ein kleinstes gemeinsames Vielfaches von $\{b_0, a_1 + 1, a_2 + 1, \dots, a_k + 1\}$ jeweils maximal ist.

[0038] Wenn ein Abstand a_{n+1} ein ganzzahliger Teiler von b_0 ist, dann baut sich mit hoher Wahrscheinlichkeit ein azimuthaler Schwingungsmodus auf. Ist dies unvermeidlich, dann wird durch entsprechende Wahl der Modulationsfrequenz die Schwingung unterdrückt.

[0039] Das erfindungsgemässe Verfahren hat den Vorteil, dass beispielsweise in einer Gasturbine, die mit modulierbaren Brennern zur Bekämpfung von axialen und/oder helikalen Verbrennungsinstabilitäten oder für eine Temperaturregelung ausgerüstet sind, in einfacher Weise auch azimuthale Schwingungen gedämpft werden können. Die Modulationsfrequenzen zur Bekämpfung der unterschiedlichen Instabilitäten liegen in ähnlichen Frequenzbereichen, sind für den Einzelfall jedoch unterschiedlich. Vorteilhaft ist dabei, wenn durch die Wahl von möglichst stark unterschiedlichen Frequenzen das System Brennstoff/Luftversorgung-Verbrennung-Brennkammer nachhaltig akustisch verstimmt wird.

Bezugszeichenliste

[0040]

- 1 erster modulierbarer Brenner
- 2 zweiter modulierbarer Brenner
- 3 dritter modulierbarer Brenner
- 4 vierter modulierbarer Brenner
- 5 fünfter modulierbarer Brenner

Patentansprüche

1. Brennkammer mit mehreren ringförmig angeordneten Brennern, von denen mehrere modulierbare Brenner (1,2,3,4,5) Mittel zur Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, wobei die Anzahl von Brennern b_0 beträgt und die Anzahl modulierbarer Brenner (1,2,3,4,5) k beträgt, **dadurch gekennzeichnet**,

dass $k < b_0$ ist und die modulierbaren Brenner (1,2,3,4,5) derart angeordnet sind, dass zwischen je zwei modulierbaren Brennern (1,2,3,4,5) je a_1, a_2, \dots, a_k nicht modulierbare Brenner angeordnet sind, und dass die Werte $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind.

2. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$$

maximal ist, wobei kgV das kleinste gemeinsame Vielfache bezeichnet.

3. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens drei der Brenner modulierbare Brenner (1,2,3,4,5) sind.

4. Brennkammer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die a_1, a_2, \dots, a_k voneinander verschieden sind.

5. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1),$$

$$\text{kgV}(b_0, a_1+a_2+2), \text{kgV}(b_0, a_2+a_3+2), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+a_1+2)$$

maximal ist.

6. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modulierten Brenner zur Modulation ihres Brennstoffmassenstroms mit Frequenzen ausgebildet sind, welche von Eigenfrequenzen von Modi, die aufgrund der Anordnung der modulierten Brenner entstehen, verschieden sind.

7. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** $b_0=24$, $k=3$, $a_1=4$, $a_2=9$ und $a_3=10$ ist.

8. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** $b_0=20$, $k=3$, $a_1=5$, $a_2=8$ und $a_3=7$ ist.

9. Verfahren zur Reduktion thermoakustischer Schwingungen in einer Brennkammer mit mehreren ringförmig angeordneten Brennern, von denen mehrere modulierbare Brenner Mittel zur Modulation eines Brennstoffmassenstroms aufweisen, wobei die Anzahl von Brennern b_0 beträgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einer Anzahl k der modulierbaren Brenner der Brennstoffmassenstrom moduliert wird, wobei diese modulierten Brenner derart angeordnet sind, dass zwischen je zwei modulierten Brennern je a_1, a_2, \dots, a_k nichtmodulierte Brenner angeordnet sind, und dass die Werte $a_1+1, a_2+1, \dots, a_k+1$ keine ganzzahligen Teiler von b_0 sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein grösster Wert von

$$\text{kgV}(b_0, a_1+1), \text{kgV}(b_0, a_2+1), \dots, \text{kgV}(b_0, a_k+1)$$

maximal ist, wobei kgV das kleinste gemeinsame Vielfache bezeichnet.

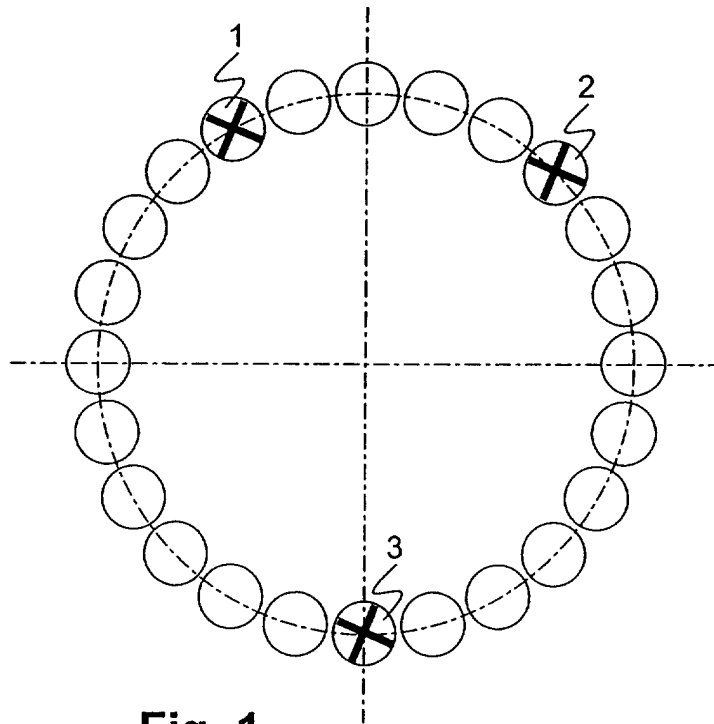


Fig. 1

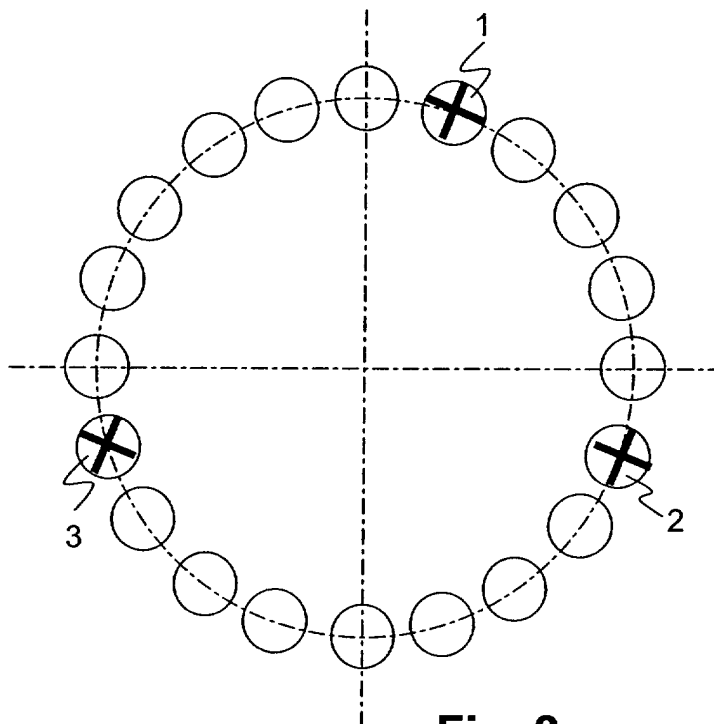


Fig. 2

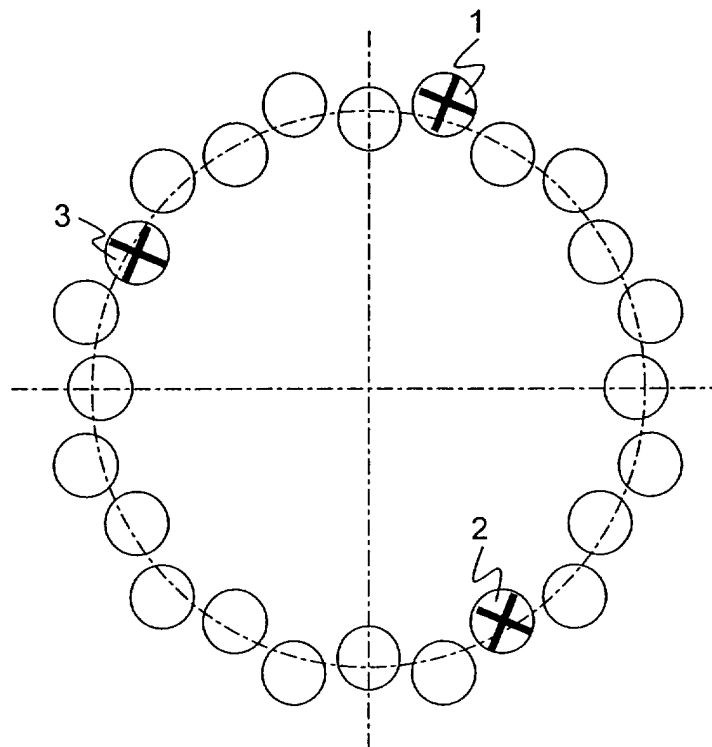


Fig.3

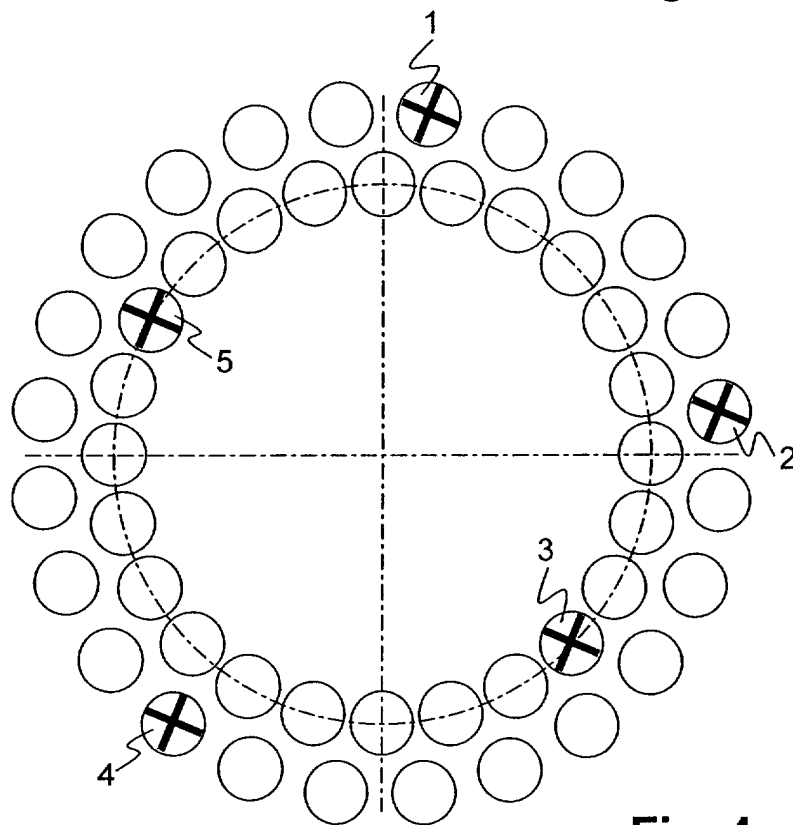


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 81 0429

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	EP 0 962 704 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 8. Dezember 1999 (1999-12-08) * Spalte 4, Zeile 5 - Zeile 43 * * Spalte 5, Zeile 41 - Zeile 52 * * Spalte 6, Zeile 54 - Spalte 7, Zeile 48 * * Spalte 8, Zeile 19 - Zeile 56 * * Abbildung 1 *	1,9	F23D11/36
A	US 6 202 401 B1 (VORTMEYER NICOLAS ET AL) 20. März 2001 (2001-03-20) * Spalte 2, Zeile 64 - Spalte 3, Zeile 10 * * Spalte 5, Zeile 64 - Spalte 6, Zeile 52 * * Spalte 7, Zeile 3 - Zeile 29 * * Abbildungen 1,2 *	1,9	
A	DE 198 49 300 A (SIEMENS AG) 20. April 2000 (2000-04-20) * Seite 5, Zeile 41 - Seite 6, Zeile 3 * * Abbildungen 2,3 *	1,9	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F23D F23R
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 3. Oktober 2001	Prüfer Coquau, S
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 Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503/03 92 (P04C03)

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

EP 01 81 0429

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.

03-10-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0962704 A	08-12-1999	CN 1244645 A	16-02-2000
		EP 0962704 A2	08-12-1999
		JP 2000002423 A	07-01-2000
US 6202401 B1	20-03-2001	DE 19636093 A1	12-03-1998
		WO 9810226 A1	12-03-1998
		EP 0925473 A1	30-06-1999
		JP 2000517407 T	26-12-2000
DE 19849300 A	20-04-2000	DE 19849300 A1	20-04-2000

EPO FORM P0481

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