



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 429 004 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.06.2004 Patentblatt 2004/25

(51) Int Cl.7: **F02C 7/22, F02C 9/26**

(21) Anmeldenummer: **03104406.8**

(22) Anmeldetag: **27.11.2003**

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

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

(72) Erfinder:
• **Gutmark, Ephraim**
45236, Cincinnati (US)
• **Paschereit, Christian Oliver**
14109, Berlin (DE)

(30) Priorität: **07.12.2002 DE 10257275**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in Verbrennungssystemen**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem (1), mit wenigstens einem Brenner (2) und wenigstens einer Brennkammer (3), wobei eine modulierte Ein-

düsung von Brennstoff durchgeführt wird.

Um die Beeinflussung der thermoakustischen Schwingungen zu verbessern, erfolgt die modulierte Eindüsung des Brennstoffs in eine sich in der Brennkammer (3) ausbildende Rezirkulationszone (7).

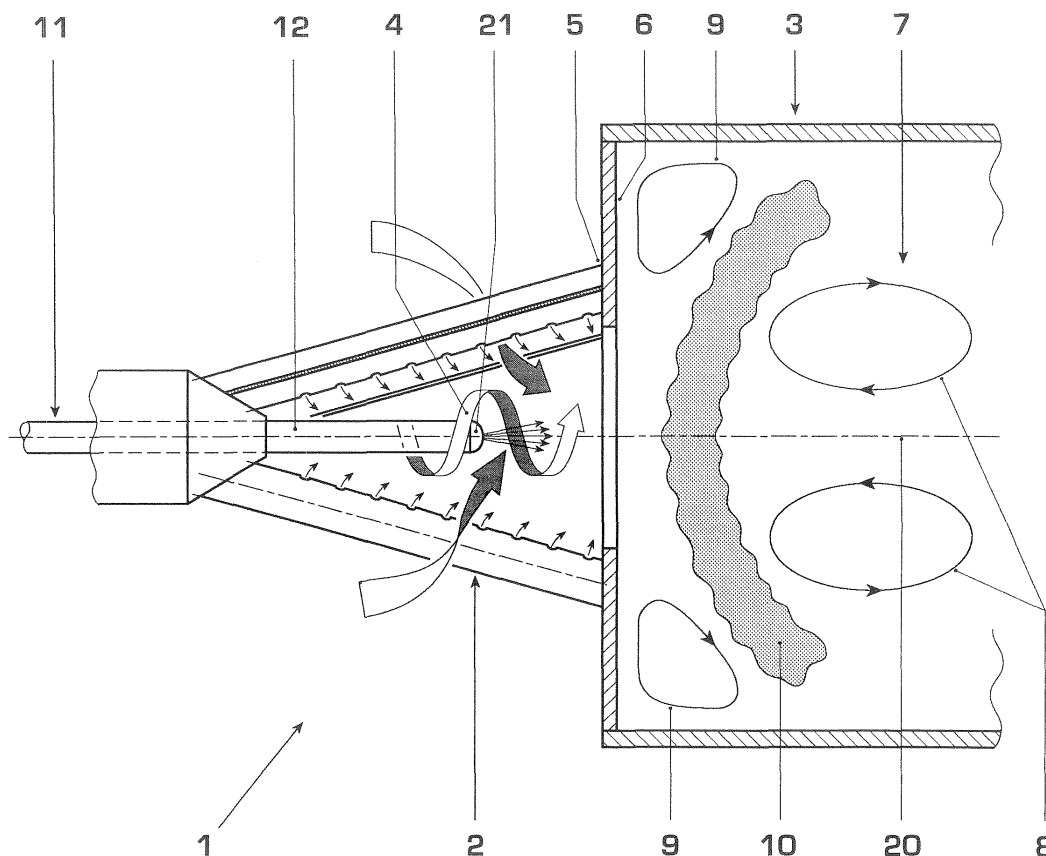


Fig. 1

EP 1 429 004 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit wenigstens einem Brenner und wenigstens einer Brennkammer mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 bzw. mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 9.

Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, dass in Brennkammern von Gasturbinen häufig unerwünschte thermoakustische Schwingungen auftreten. Mit dem Begriff "thermoakustische Schwingungen" werden sich gegenseitig aufschaukelnde thermische und akustische Störungen bezeichnet. Es können dabei hohe Schwingungsamplituden auftreten, die zu unerwünschten Effekten, wie etwa zu einer hohen mechanischen Belastung der Brennkammer und zu erhöhten NO_x -Emissionen durch eine inhomogene Verbrennung führen können. Dies trifft insbesondere für Verbrennungssysteme mit geringer akustischer Dämpfung zu. Um eine hohe Leistung in Bezug auf Pulsationen und Emissionen über einen weiten Betriebsbereich zu gewährleisten, kann eine aktive Kontrolle der Verbrennungsschwingungen notwendig sein.

[0003] Um niedrige NO_x -Emissionen zu erzielen, wird in modernen Gasturbinen ein zunehmender Anteil der Luft durch die Brenner selbst geleitet und der Kühlluftstrom reduziert. Da bei herkömmlichen Brennkammern die in die Brennkammer einströmende Kühlluft schalldämpfend wirkt und damit zur Dämpfung thermoakustischer Schwingungen beiträgt, wird durch die vorgenannten Maßnahmen zur Reduzierung der NO_x -Emissionen die Schalldämpfung reduziert.

[0004] Aus der gattungsgemäßen EP 0 985 810 A1 ist es bekannt, dass thermoakustische Schwingungen dadurch zu beeinflussen sind, indem eine Eindüsung von flüssigem oder gasförmigem Brennstoff moduliert erfolgt.

[0005] Es besteht weiterer Bedarf, die Störwirkung der thermoakustischen Schwingungssysteme noch stärker zu reduzieren.

Darstellung der Erfindung

[0006] Hier setzt die Erfindung an. Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, einen Weg zur Verbesserung der Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem aufzuzeigen.

[0007] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, bei einem Verbrennungssystem, in dessen Brennkammer sich eine Rezirkulationszone ausbildet, Brennstoff in diese Rezirkulationszone moduliert einzudüsen. Es hat sich gezeigt, dass durch diese Maßnahme die Unterdrückung der thermoakustischen Schwingungen deutlich verbessert werden kann. Durch die Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone können die sich in der Brennkammer ausbildenden und sich gegenseitig beeinflussenden Wirbelsysteme intensiv beeinflusst werden. Da die in der Brennkammer vorliegenden Wirbelsysteme wesentlich am Entstehen thermoakustischer Schwingungen beteiligt sind, lässt sich durch eine gezielte, modulierte Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone eine wirkungsvolle Beeinflussung der thermoakustischen Schwingungen erzielen.

[0009] Derartige Rezirkulationszonen, die sich erfindungsgemäß für die modulierte Eindüsung von Brennstoff besonders eignen, können sich bei speziellen Brenner-Brennkammer-Konfigurationen in der Brennkammer ausbilden. Beispielsweise kann sich eine solche Rezirkulationszone in der Brennkammer dann ausbilden, wenn die vom Brenner zugeführte, drallbehaftete Strömung beim Übergang in die Brennkammer plötzlich zusammenbricht. Der Zusammenbruch einer solchen Drallströmung kann beispielsweise durch eine sprungartige Querschnittserweiterung beim Übergang zwischen Brenner und Brennkammer erreicht werden, die in Verbindung mit entsprechenden Druckverhältnissen quasi ein Aufplatzen der Drallströmung bewirkt. Derartige Rezirkulationszonen werden bei modernen Verbrennungssystemen gezielt erzeugt, da sie in der Brennkammer die Ausbildung einer stationären und stabilen Flammenfront unterstützen. Eine stabile Verbrennung führt zu einem hohen Wirkungsgrad und zu niedrigen Schadstoffemissionen. Es ist daher von besonderem Interesse, in der Brennkammer eine stabile Rezirkulationszone zu erzeugen. Da sich ausbildende thermoakustische Schwingungen zu Instabilitäten der Rezirkulationszone führen können, führt eine verbesserte Unterdrückung oder Dämpfung der thermoakustischen Schwingungen zu einer erhöhten Stabilität der Rezirkulationszone. Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagene modulierte Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone kann diese somit stabilisiert werden.

[0010] Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung kann die Eindüsung der Gesamtbrennstoffmenge so erfolgen, dass eine erste Brennstoffmenge konstant eingedüst, während eine zweite Brennstoffmenge moduliert eingedüst wird. Durch diese Vorgehensweise wird einerseits gewährleistet, dass das brennbare Gemisch in der Brennkammer nicht zu stark abmagert, um ein Erlöschen der Flammen zu vermeiden. Andererseits nutzt diese Vorgehensweise die Erkenntnis, dass die Verwendung einer (relativ kleinen) Teilmenge des eingedüsten Brennstoffs ausreicht, um durch die modulierte Eindüsung den gewünschten Einfluss auf die thermoakustischen Schwingungen zu erzielen. Da somit nur

ein Teil des Brennstoffs moduliert eingedüst werden muss, kann die dazu ausgebildete Brennstoffversorgungseinrichtung entsprechend kleiner dimensioniert werden.

[0011] Bei einer Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die moduliert Eindüsung des Brennstoffs ausschließlich in die Rezirkulationszone erfolgt und/oder dass die Eindüsung von Brennstoff in die Rezirkulationszone ausschließlich moduliert erfolgt. Insbesondere kann dann die nicht moduliert Eindüsung einer konstanten Brennstoffmenge auf herkömmliche Weise erfolgen.

[0012] Die moduliert Eindüsung des Brennstoffs in die Rezirkulationszone kann bei der Erfindung mittels einer Lanze durchgeführt werden, die in den Brenner hineinragt. Zweckmäßig ragt diese Lanze dabei relativ weit in den Brenner hinein, um die Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone zu ermöglichen.

[0013] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Bauteile bezeichnen. Es zeigen, jeweils schematisch,

- Fig. 1 eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung eines mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestatteten Verbrennungssystems,
- Fig. 2 eine teilweise geschnittene, perspektivische Darstellung eines Brenners,
- Fig. 3 eine vereinfachte Darstellung des Brenners aus Fig. 2, jedoch aus einer anderen Perspektive,
- Fig. 4 eine nochmals vereinfachte Darstellung des Verbrennungssystems mit einer Steuerung,
- Fig. 5 eine Darstellung wie in Fig. 4, jedoch bei einer anderen Ausführungsform der Steuerung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0015] Entsprechend Fig. 1 umfasst ein Verbrennungssystem 1 zumindest einen Brenner 2 sowie wenigstens eine Brennkammer 3. Der Brenner 2 ist hier so aufgebaut, dass in ihm eine Drallströmung erzeugt wird, was durch einen entsprechenden Pfeil 4 angedeutet ist. Der Brenner 2 geht bei 5 mit einer sprungartigen Querschnittserweiterung 6 in die unmittelbar anschließende

Brennkammer 3 über. Hierdurch kommt es in der Brennkammer 3 zur Ausbildung einer zentralen Rezirkulationszone 7, die im wesentlichen aus einer ringförmigen, quasi ortsfesten Wirbelwalze besteht, die durch Pfeile 8 angedeutet ist. Auch im Totwasserbereich der Querschnittserweiterung 6 kann sich eine stationäre Wirbelwalze ausbilden, die durch Pfeile 9 angedeutet ist. Eine sich in der Brennkammer 3 ausbildende Flammenfront 10 wird dabei insbesondere durch die Rezirkulationszone 7 stabilisiert.

[0016] Erfindungsgemäß besitzt ein Brennstoffversorgungssystem 11 eine Lanze 12, die in den Brenner 2 hineinragt und so ausgestaltet ist, dass flüssiger oder gasförmiger Brennstoff mit Hilfe dieser Lanze 12 in die Rezirkulationszone 7 moduliert eindüsbar ist. Die dadurch erzeugte Beeinflussung der Rezirkulationszone 7 kann durch eine entsprechende Modulation der Brennstoffeindüsung gezielt so gewählt werden, dass sich eine Dämpfung oder Unterdrückung von thermoakustischen Schwingungen des Verbrennungssystems 1 ausgebildet. Da diese thermoakustischen Schwingungen nachteilig für die Stabilität der Rezirkulationszone 7 bzw. der Flammenfront 10 sind, führt die vorgeschlagene, moduliert Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone 7 zu einer Stabilisierung der Verbrennung in der Brennkammer 3.

[0017] Entsprechend Fig. 2 weist der Brenner 2, der hier als Vormischbrenner ausgebildet ist, zwei Brennstoffleitungen 13 und 14 auf, die mit Öffnungen 15 versehen sind. Durch diese Öffnungen 15 kann ebenfalls gasförmiger oder flüssiger Brennstoff 16 der Verbrennungsluft 25 zugemischt werden. Die Brennstoffzuführung zur Lanze 12 ist in Fig. 2 durch einen Pfeil 17 repräsentiert.

[0018] Die Lage der Öffnungen 15, durch welche der Brennstoff 16 der Verbrennungsluft 25 zugemischt wird, ist aus Fig. 3 besser entnehmbar. Die Brennstoffleitungen 13, 14 sind an Teilkörpern 18 und 19, aus denen der Brenner 2 zusammengesetzt ist, angebracht. Die Öffnungen 15 sind dann entlang zweier Geraden angeordnet, die sich bezüglich einer Längsmittelachse 20 des Brenners 2 diametral gegenüberliegen und sich näherungsweise in einem Punkt auf der Längsmittelachse 20 schneiden. Hierdurch liegen sämtliche Öffnungen 15 in einer Ebene, der sogenannten Brennstoffinjektionsebene.

[0019] Bei der hier gezeigten Ausführungsform wird der Brennstoff somit teilweise über die Lanze 12 und teilweise über die Öffnungen 15 eingedüst. Grundsätzlich ist auch eine Ausführungsform möglich, bei welcher der Brennstoff ausschließlich über die Lanze 12 eingedüst wird. Bevorzugt wird eine Variante, bei welcher die über die Lanze 12 eingedüste Brennstoffmenge kleiner, insbesondere erheblich kleiner ist als die Brennstoffmenge, die über die Öffnungen 15 eingedüst wird. Beispielsweise liegt die über die Lanze 12 eingedüste Brennstoffmenge etwa bei 5 % oder weniger, insbesondere bei etwa 2 %, der insgesamt eingedüsten Brennstoffmenge.

stoffmenge.

[0020] Während über die Lanze 12 der Brennstoff in die Rezirkulationszone 7 eindüsbare ist, erfolgt die Brennstoffeindüsung über die Öffnungen 15 eindeutig innerhalb des Brenners 2. Abgesehen von der Lanze 12 gleicht der in den Fig. 2 und 3 dargestellte Brenner somit dem aus der EP 0 985 810 A1 bekannte Brenner.

[0021] Dementsprechend kann zur Beeinflussung der thermoakustischen Schwingungen zusätzlich auch die Brennstoffeindüsung über die Öffnungen 15 moduliert durchgeführt werden. Zur Funktionsweise der zusätzlichen modulierten Brennstoffeindüsung durch die Öffnungen 15 wird auf die EP 0 985 810 A1 verwiesen, deren Inhalt hiermit durch ausdrückliche Bezugnahme in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung eingegliedert wird.

[0022] Dementsprechend ist es somit möglich, sowohl über die Lanze 12 als auch über die Öffnungen 15 den Brennstoff moduliert einzudüsen. Bevorzugt wird jedoch eine Ausführungsform, bei welcher die modulierte Brennstoffeindüsung ausschließlich über die Lanze 12 erfolgt.

[0023] Entsprechend einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann die modulierte Brennstoffeindüsung so durchgeführt werden, dass sich die insgesamt eingedüste Brennstoffmenge aus einer ersten, konstant, also unmoduliert eingedüsten Brennstoffmenge und einer zweiten, moduliert eingedüsten Brennstoffmenge zusammensetzt. Auf diese Weise kann eine Abmagerung des brennbaren Gemischs in der Brennkammer unter den Anteil der konstant eingedüsten Brennstoffmenge vermieden werden.

[0024] Es hat sich gezeigt, dass es zur Bedämpfung der thermoakustischen Schwingungen ausreicht, die moduliert eingedüste Brennstoffmenge kleiner, insbesondere erheblich kleiner zu wählen als die konstant eingedüste Brennstoffmenge. Bevorzugt wird hierbei eine Ausführungsform, bei der die modulierte Brennstoffeindüsung ausschließlich über die Lanze 12 erfolgt, während die konstante, also unmodulierte Brennstoffeindüsung ausschließlich über die Öffnungen 15 durchgeführt wird. Dementsprechend ergibt sich wieder die obengenannte Aufteilung, bei der nur etwa 5 % oder vorzugsweise 2 % der gesamten Brennstoffmenge moduliert über die Lanze 12 in die Rezirkulationszone 7 eingedüst wird.

[0025] Wie aus den Fig. 1 bis 3 hervorgeht, ist die Lanze 12 koaxial zur Längsmittelachse 20 des Brenners 2 angeordnet. Die Lanze 12 ragt dabei relativ weit und zentral in den Brenner 2 hinein. In der dargestellten Ausführungsform erstreckt sich die Lanze 12 zumindest über 50 %, insbesondere über etwa 75 % der axialen Länge des Brenners 2.

[0026] Zweckmäßig ist die Lanze 12 so ausgebildet, dass sie die Brennstoffeindüsung in die Rezirkulationszone 7 axial durchführt, das heißt der moduliert eingedüste Brennstoff tritt an einer axialen Stirnseite 21 aus der Lanze 12 aus.

[0027] Grundsätzlich kann die modulierte Eindüsung des Brennstoffs in die Rezirkulationszone 7 so ausgeführt werden, dass die Modulation unabhängig von einer Schwingungsphase der aktuellen thermoakustischen Schwingungen im Verbrennungssystem 1 ist. Gemäß Fig. 4 kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung 22 zur Beeinflussung der thermoakustischen Schwingungen im Verbrennungssystem 1 eine Steuerung 23 aufweisen, die hier lediglich durch einen mit unterbrochenen Linien dargestellten Rahmen symbolisiert ist. Die Vorrichtung 22 umfasst außerdem wenigstens ein Brennstoffventil 24 der Brennstoffversorgungseinrichtung 11, welche die Lanze 12 umfasst. Diese Brennstoffversorgungseinrichtung 11 ist mit dem Verbrennungssystem 1 gekoppelt, das den Brenner 2 und die Brennkammer 3 umfasst. Zur Vereinfachung sind in Fig. 4 Brenner 2 und Brennkammer 3 durch ein gemeinsames Rechteck symbolisiert. Mit dem Brennstoffventil 24 ist durch eine entsprechende Betätigung die dem Verbrennungssystem 1 moduliert zugeführte Menge an flüssigem oder gasförmigen Brennstoff steuerbar. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist die Steuerung 23 als offene Kontrollschleife, also als Steuerkreis, ausgebildet und enthält einen Steuersignalgenerator 26 sowie einen Verstärker 27. Der Steuersignalgenerator 26 erzeugt unabhängig von den thermoakustischen Schwingungen des Verbrennungssystems 1 ein Steuersignal, das im Verstärker 27 verstärkt wird und zur Betätigung des Brennstoffventils 24 dient. Der Steuersignalgenerator 26 ist beispielsweise auf den Nennbetriebspunkt des Verbrennungssystems ausgelegt, so dass die von ihm erzeugten Steuersignale erfahrungsgemäß eine hinreichende Unterdrückung der thermoakustischen Schwingungen bewirken. Ebenso ist es möglich, dass der Steuersignalgenerator 26 die Steuersignale in Abhängigkeit aktueller Betriebsparameter des Verbrennungssystems 1, insbesondere unter Zugriff auf Kennfelder, erzeugt.

[0028] Entsprechend Fig. 5 kann die Vorrichtung 22 bei einer alternativen Ausführungsform eine andere Steuerung 28 aufweisen, die als geschlossene Kontrollschleife, also als Regelkreis, ausgebildet ist. Die Steuerung 28 betätigt dabei wieder das wenigstens ein Brennstoffventil 24 der Brennstoffversorgungseinrichtung 11 zur Versorgung des Verbrennungssystems 1, insbesondere dessen Brenner 2 und dessen Brennkammer 3, mit Brennstoff. Die Steuerung 28 enthält ebenfalls einen Steuersignalgenerator 29, der eingangsseitig ein Schwingungssignal erhält und in Abhängigkeit davon ausgangsseitig das Steuersignal zur Betätigung des Brennstoffventils 24 erzeugt. Das eingehende Schwingungssignal korreliert mit den aktuellen thermoakustischen Schwingungen im Verbrennungssystem 1 und wird von einer hier nicht gezeigten Sensorik ermittelt. Die von der Sensorik ermittelten Schwingungssignale können Drucksignale sein, wobei die Sensorik dann Drucksensoren, vorzugsweise Mikrofone, insbesondere wassergekühlte Mikrofone und/oder Mikrofone mit piezoelektrischen Druckaufnehmern umfasst. Eben-

so ist es möglich, dass die von der Sensorik ermittelten Signale durch Chemielumineszenzsignale gebildet sind, bevorzugt durch Chemielumineszenzsignale von der Emission eines der Radikale OH oder CH. Zweckmäßig kann die Sensorik optische Sensoren für sichtbare oder infrarote Strahlung, insbesondere optische Fasersonden, aufweisen.

[0029] Der Steuersignalgenerator 29 enthält beispielsweise einen speziellen Algorithmus und/oder Kennfelder, um aus den eingehenden Schwingungssignalen geeignete Steuersignale zu erzeugen. Diese Steuersignale werden dann einem Filter 30 zugeführt, der insbesondere als Bandpassfilter oder als Hochpassfilter ausgebildet ist und unerwünschte, niederfrequente Störungen zurück hält. Nach dem Filter 30 werden die Steuersignale in einem Zeitverzögerungsglied 31 phasenverschoben; anschließend werden sie in einem Verstärker 32 verstärkt und können dann zur Ansteuerung des Brennstoffventils 24 verwendet werden. Zweckmäßig kann die Steuerung 28, insbesondere deren Steuersignalgenerator 29, in Abhängigkeit der momentanen Druck- oder Lumineszenz-Signale das Zeitverzögerungsglied 31 zur Veränderung der Phasenverschiebung und/oder den Verstärker 32 zur Veränderung der Signalamplitude und/oder das Filter 30 zur Veränderung des Filterbereichs ansteuern. Hierdurch kann der Einfluss der Steuerung 28 auf die zu bedämpfende Störfrequenz variiert bzw. nachgeführt werden. Während die in Fig. 4 gezeigte Ausführungsform eine modulierte Brennstoffeindüsung erzeugt, die unabhängig von den aktuellen thermoakustischen Schwingungen, insbesondere unabhängig von der Schwingungsphase der aktuellen thermoakustischen Schwingungen, ist, kann bei der in Fig. 5 gezeigten Ausführungsform die modulierte Brennstoffeindüsung auf die aktuellen thermoakustischen Schwingungen, insbesondere auf die Schwingungsphase der aktuellen thermoakustischen Schwingungen, abgestimmt werden. Bei der Variante gemäß Fig. 5 ist somit die momentane Betätigung des Brennstoffventils 24 mit dem im Brennungssystem 1 gemessenen, mit den thermoakustischen Fluktuationen korrelierenden Schwingungssignal phasengekoppelt. Das Schwingungssignal kann stromab des Brenners 2 in der Brennkammer 3 oder in einer stromauf des Brenners 2 angeordneten Beruhigungskammer gemessen werden.

[0030] Die strömungsmechanische Stabilität eines Gasturbinenbrenners 2 ist von entscheidender Bedeutung für das Auftreten thermoakustischer Schwingungen. Die im Brenner 2 entstehenden strömungsmechanischen Instabilitätswellen führen zur Ausbildung von Wirbeln. Diese auch als kohärente Strukturen bezeichneten Wirbel spielen eine bedeutende Rolle bei Mischungsvorgängen zwischen Luft und Brennstoff. Die räumliche und zeitliche Dynamik dieser kohärenten Strukturen beeinflusst die Verbrennung und die Wärmefreisetzung. Durch die modulierte Brennstoffeindüsung kann der Ausbildung dieser kohärenten Strukturen entgegengewirkt werden. Wird die Entstehung von Wirbel-

strukturen am Brenneraustritt reduziert oder verhindert, so wird dadurch auch die periodische Wärmefreisetzungsschwankung reduziert. Diese periodischen Wärmefreisetzungsschwankungen bilden jedoch die Grundlage für das Auftreten thermoakustischer Schwingungen, so dass durch die akustische Anregung die Amplitude der thermoakustischen Schwingungen reduziert werden kann.

[0031] Durch die Wahl einer geeigneten, je nach Art des gemessenen Signals verschiedenen Phasendifferenz zwischen Messsignal und momentaner Modulation der Brennstoffeindüsung wirkt die Brennstoffeindüsung der Ausbildung kohärenter Strukturen entgegen, so dass die Amplitude der Druckpulsation verringert wird. Die genannte Phasendifferenz wird durch das Zeitverzögerungsglied 31 eingestellt und berücksichtigt, dass in der Regel durch die Anordnung der Messsensoren und Brennstoffventile 24 sowie durch die Messgeräte und Leitungen selbst Phasenverschiebungen auftreten. Wird die eingestellte relative Phase so gewählt, dass sich eine möglichst große Reduzierung der Druckamplitude ergibt, werden alle diese phasendrehenden Effekte implizit berücksichtigt. Da sich die günstigste relative Phase mit der Zeit ändern kann, bleibt die relative Phase vorteilhaft variabel und kann etwa über eine Kontrolle der Druckschwankungen so nachgeführt werden, dass stets eine große Unterdrückung gewährleistet ist.

[0032] Mit Hilfe der modulierten Brennstoffeindüsung, die erfindungsgemäß in die Rezirkulationszone 7 der Brennkammer 3 erfolgt, lässt sich die Ausbildung thermoakustischer Schwingungen gezielt beeinflussen. Unter einer modulierten Brennstoffeindüsung wird hierbei jede zeitlich variierende Eindüsung von flüssigem oder gasförmigem Brennstoff verstanden. Diese Modulation kann beispielsweise mit einer beliebigen Frequenz erfolgen. Die Eindüsung kann phasenunabhängig von den Druckschwankungen im Verbrennungssystem erfolgen (vgl. Fig. 4); bevorzugt wird jedoch die Ausführungsform gemäß Fig. 5, bei der die Eindüsung mit dem im Verbrennungssystem 1 gemessenen Schwingungssignal phasengekoppelt ist, das mit den thermoakustischen Schwingungen korreliert ist. Die Modulation der Brennstoffeindüsung erfolgt durch ein entsprechendes Öffnen und Schließen des oder der Brennstoffventile 24, wodurch die Eindüszeiten (Start und Ende der Eindüsung) und/oder die Eindüsmenge variiert werden. Durch die modulierte Brennstoffzufuhr in die Rezirkulationszone 7 kann in der Brennkammer 3 die in großräumigen Wirbeln umgesetzte Brennstoffmenge kontrolliert werden. Hierdurch kann die Ausbildung der kohärenten Strukturen und somit die Entstehung thermoakustischer Instabilitäten beeinflusst werden.

[0033] Über den Steuersignalgenerator 26 bzw. 29 kann es insbesondere möglich sein, die mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung 22 zu beeinflussende Störfrequenz der thermoakustischen Schwingungen zu variieren. Beispielsweise kann die Hauptstörfrequenz vom jeweiligen Betriebszustand des Verbrennungssy-

stems 1 abhängen.

Bezugszeichenliste

[0034]

1	Verbrennungssystem
2	Brenner
3	Brennkammer
4	Drallströmung
5	Übergang
6	Querschnittserweiterung
7	Rezirkulationszone
8	Wirbelwalze
9	Wirbelwalze
10	Flammenfront
11	Brennstoffversorgungseinrichtung
12	Lanze
13	Brennstoffleitung
14	Brennstoffleitung
15	Öffnung
16	Brennstoff
17	Brennstoff
18	Teilkörper
19	Teilkörper
20	Längsmittelachse
21	axiale Stirnseite
22	Vorrichtung
23	Steuerung
24	Brennstoffventil
25	Verbrennungsluft
26	Steuersignalgenerator
27	Verstärker
28	Steuerung
29	Steuersignalgenerator
30	Filter
31	Zeitverzögerungsglied
32	Verstärker

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem (1) mit wenigstens einem Brenner (2) und wenigstens einer Brennkammer (3), wobei eine modulierte Eindüsung von Brennstoff durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modulierte Eindüsung des Brennstoffs in eine sich in der Brennkammer (3) ausbildende Rezirkulationszone (7) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eindüsung der Gesamtbrennstoffmenge so erfolgt, dass eine erste Brennstoffmenge konstant und zweite Brennstoffmenge moduliert eingedüst werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die moduliert eingedüste Brennstoffmenge kleiner ist als die konstant eingedüste Brennstoffmenge.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die moduliert eingedüste Brennstoffmenge etwa zwischen 6 % und 1 % der Gesamtbrennstoffmenge beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modulierte Eindüsung des Brennstoff unabhängig von einer Schwingungsphase der thermoakustischen Schwingungen erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** die modulierte Eindüsung des Brennstoffs mit einer Schwingungsphase der thermoakustischen Schwingungen gekoppelt ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modulierte Eindüsung des Brennstoffs ausschließlich in die Rezirkulationszone (7) erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Eindüsung von Brennstoff in die Rezirkulationszone (7) ausschließlich moduliert erfolgt.
9. Vorrichtung zur Beeinflussung thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem (1) mit wenigstens einem Brenner (2) und wenigstens einer Brennkammer (3), wobei der Brenner (2) wenigstens eine Brennstoffversorgungseinrichtung (11) mit wenigstens einem Brennstoffventil (24) zur Erzeugung einer modulierten Eindüsung des Brennstoffs aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffversorgungseinrichtung (11) wenigstens eine in den Brenner (2) hineinragende Lanze (12) zur modulierten Eindüsung des Brennstoffs in eine, sich in der Brennkammer (3) ausbildende Rezirkulationszone (7) aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lanze (12) coaxial zu einer Längsmittelachse (20) des Brenners (2) angeordnet ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lanze (12) den Brennstoff im wesentlichen axial in die Rezirkulationszone (7) eindüst.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Steuerung (23) zur Betätigung des die Brennstoffversorgung der Lanze (12) steuernden Brennstoffventils (24) eine offene Kontrollschleife aufweist, die einen Steuersignalgenerator (26) enthält, der unabhängig von den aktuellen thermoakustischen Schwingungen ein Steuersignal zur Betätigung des Brennstoffventils (24) erzeugt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die offene Kontrollschleife einen Signalverstärker (27) enthält, der das vom Signalgenerator (26) erzeugte Steuersignal verstärkt an das Brennstoffventil (24) weiterleitet.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Steuerung (28) zur Betätigung des die Brennstoffversorgung der Lanze (12) steuernden Brennstoffventils (24) eine geschlossene Kontrollschleife aufweist, die einen Steuersignalgenerator (29) enthält, der in Abhängigkeit eines mit den aktuellen thermoakustischen Schwingungen korrelierenden Schwingungssignals ein Steuersignal zur Betätigung des Brennstoffventils (24) erzeugt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die geschlossene Kontrollschleife eine Sensorik zum Erzeugen des Schwingungssignals und/oder ein Filter (30) zur Rauschunterdrückung im Steuersignal und/oder ein Zeitverzögerungsglied (31) zur Phasenverschiebung des Steuersignals und/oder einen Signalverstärker (32) zum Verstärken des Steuersignals bevor es zum Brennstoffventil (24) gelangt enthält.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

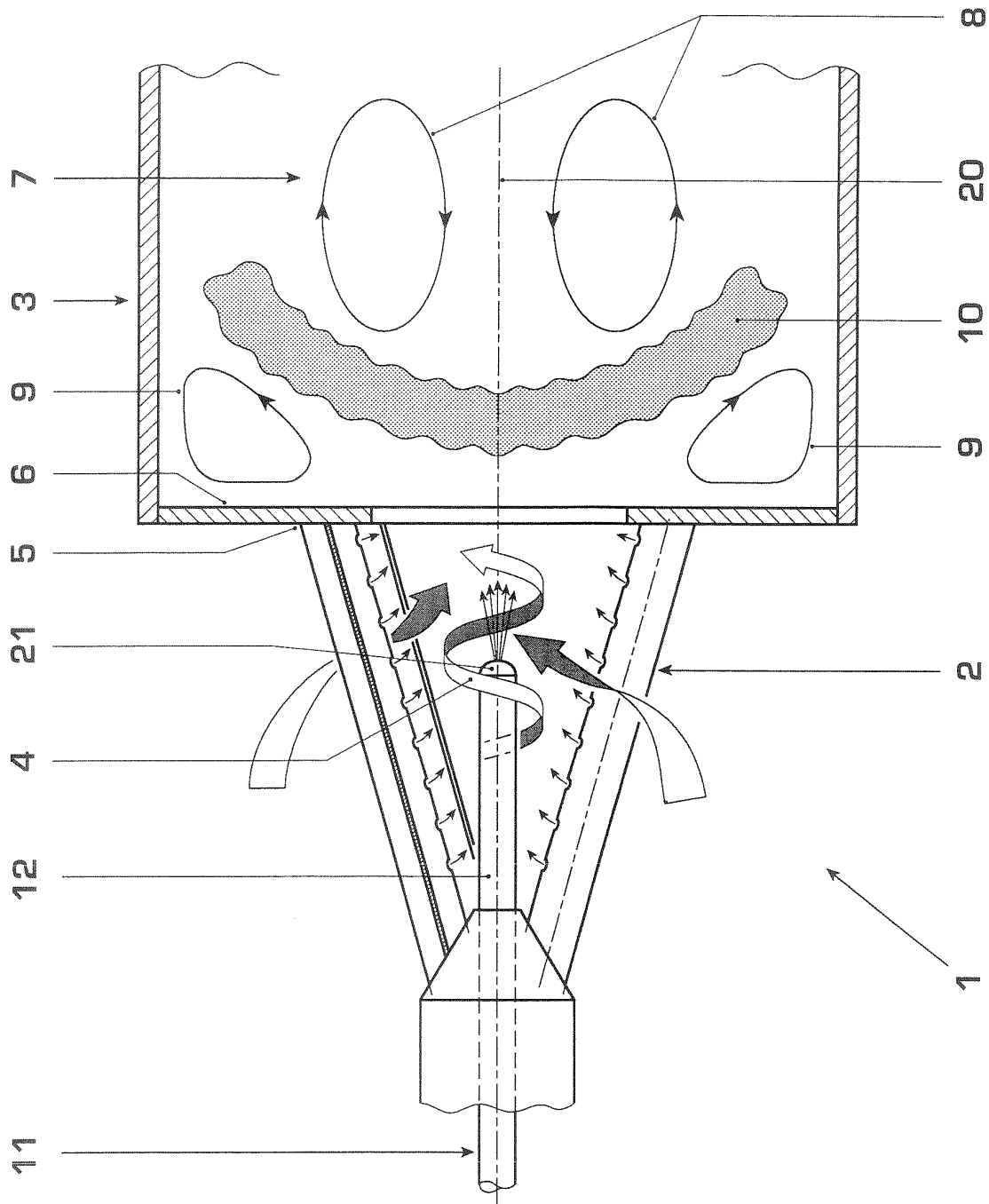


Fig. 1

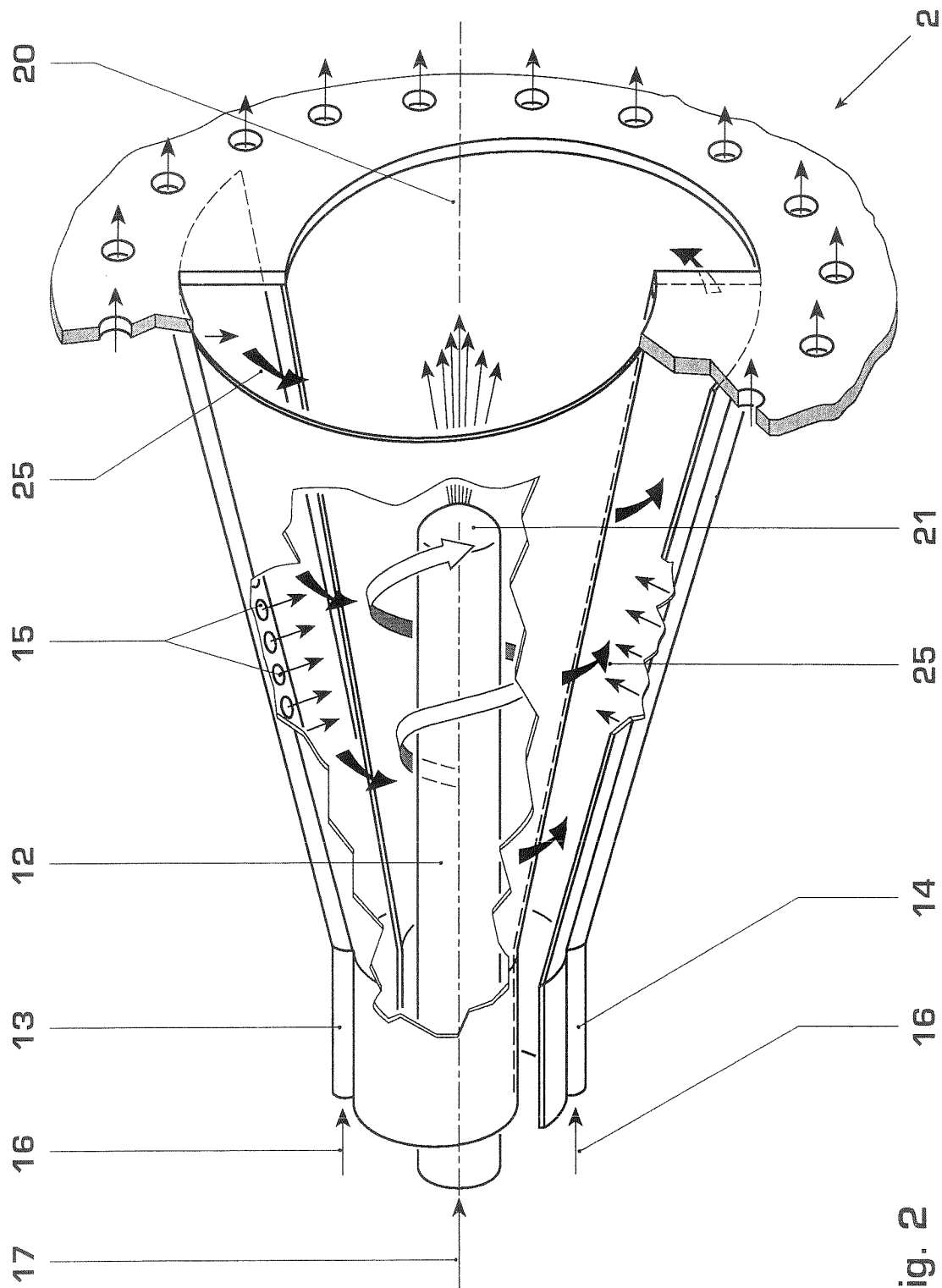


Fig. 2

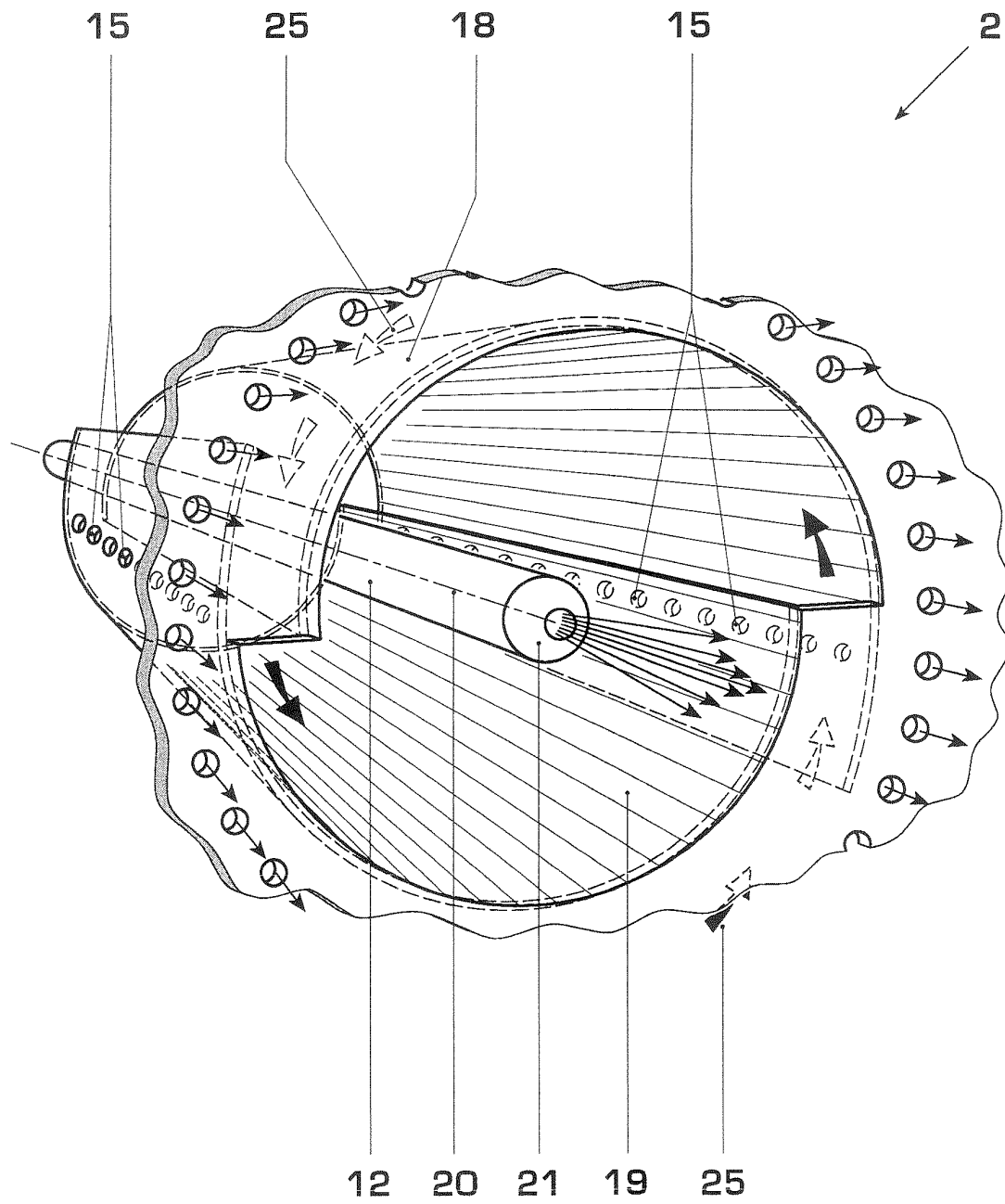


Fig. 3

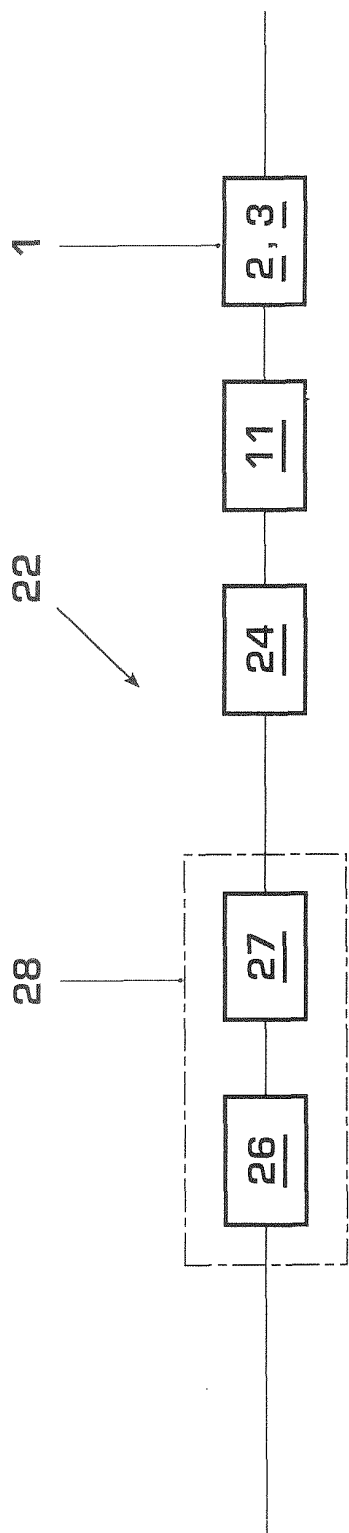


Fig. 4

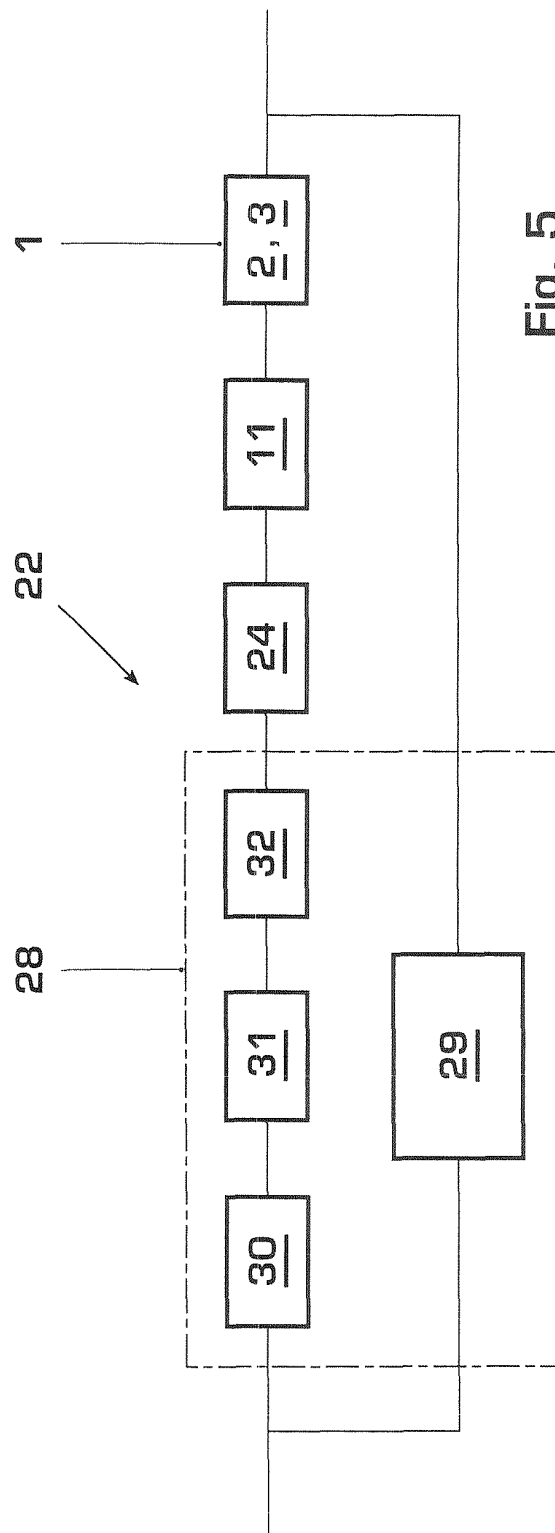


Fig. 5