



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 57 275 A1** 2004.06.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 57 275.5**
 (22) Anmeldetag: **07.12.2002**
 (43) Offenlegungstag: **24.06.2004**

(51) Int Cl.7: **F23C 11/04**
F23R 3/28

(71) Anmelder:
ALSTOM Technology Ltd, Baden, CH

(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München

(72) Erfinder:
Gutmark, Ephraim, Prof. Dr., Cincinnati, Ohio, US;
Paschereit, Christian Oliver, Dr., Baden, CH

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

DE 199 48 673 A1
DE 199 34 612 A1
DE 199 28 226 A1
DE 43 39 094 A1
US 50 05 353

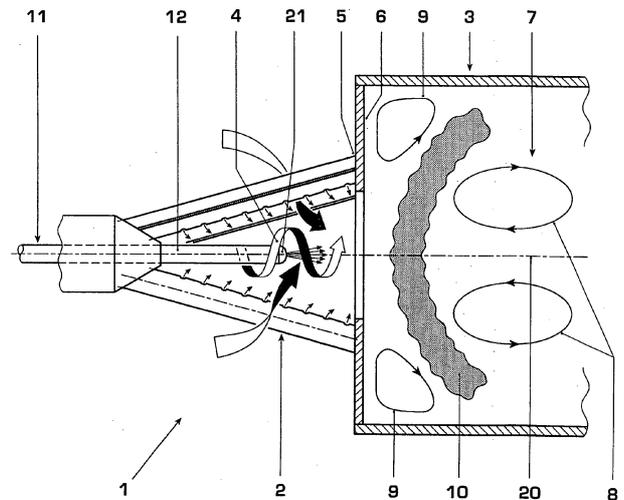
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

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

(57) Zusammenfassung: 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 Eindüsung 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).



Beschreibung

[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.

Aufgabenstellung

[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 des-

sen Brennkammer sich eine Rezirkulationszone ausgebildet, 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.

Ausführungsbeispiel

[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,

[0015] **Fig. 1** eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung eines mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestatteten Verbrennungssystems,

[0016] **Fig. 2** eine teilweise geschnittene, perspektivische Darstellung eines Brenners,

[0017] **Fig. 3** eine vereinfachte Darstellung des Brenners aus **Fig. 2**, jedoch aus einer anderen Perspektive,

[0018] **Fig. 4** eine nochmals vereinfachte Darstellung des Verbrennungssystems mit einer Steuerung,

[0019] **Fig. 5** eine Darstellung wie in **Fig. 4**, jedoch bei einer anderen Ausführungsform der Steuerung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0020] 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 sprunghaftigen 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 Brenn-

kammer **3** ausbildende Flammenfront **10** wird dabei insbesondere durch die Rezirkulationszone **7** stabilisiert.

[0021] 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** ausbildet. 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**.

[0022] 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.

[0023] 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 aufgereiht, 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.

[0024] 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.

[0025] Während über die Lanze **12** der Brennstoff in die Rezirkulationszone **7** eindüsbar 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.

[0026] 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.

[0027] 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 moduliert Brennstoffeindüsung ausschließlich über die Lanze **12** erfolgt.

[0028] Entsprechend einer besonders vorteilhaften Ausführungsform kann die moduliert 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.

[0029] 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 moduliert Brennstoffeindüsung ausschließlich über die Lanze **12** erfolgt, während die konstante, also unmoduliert 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.

[0030] 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**.

[0031] 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.

[0032] Grundsätzlich kann die moduliert 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.

[0033] 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 ausgangssseitig 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. Ebenso 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.

[0034] Der Steuersignalgenerator **29** enthält bei-

spielsweise 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.

[0035] 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 Wirbelstrukturen 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 Schwankungen reduziert

werden kann.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 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 Verbrennungssystems **1** abhängen.

Bezugszeichenliste

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 eingedüστε Brennstoffmenge kleiner ist als die konstant eingedüστε Brennstoffmenge.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die moduliert eingedüστε 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 Signalge-

nerator (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.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

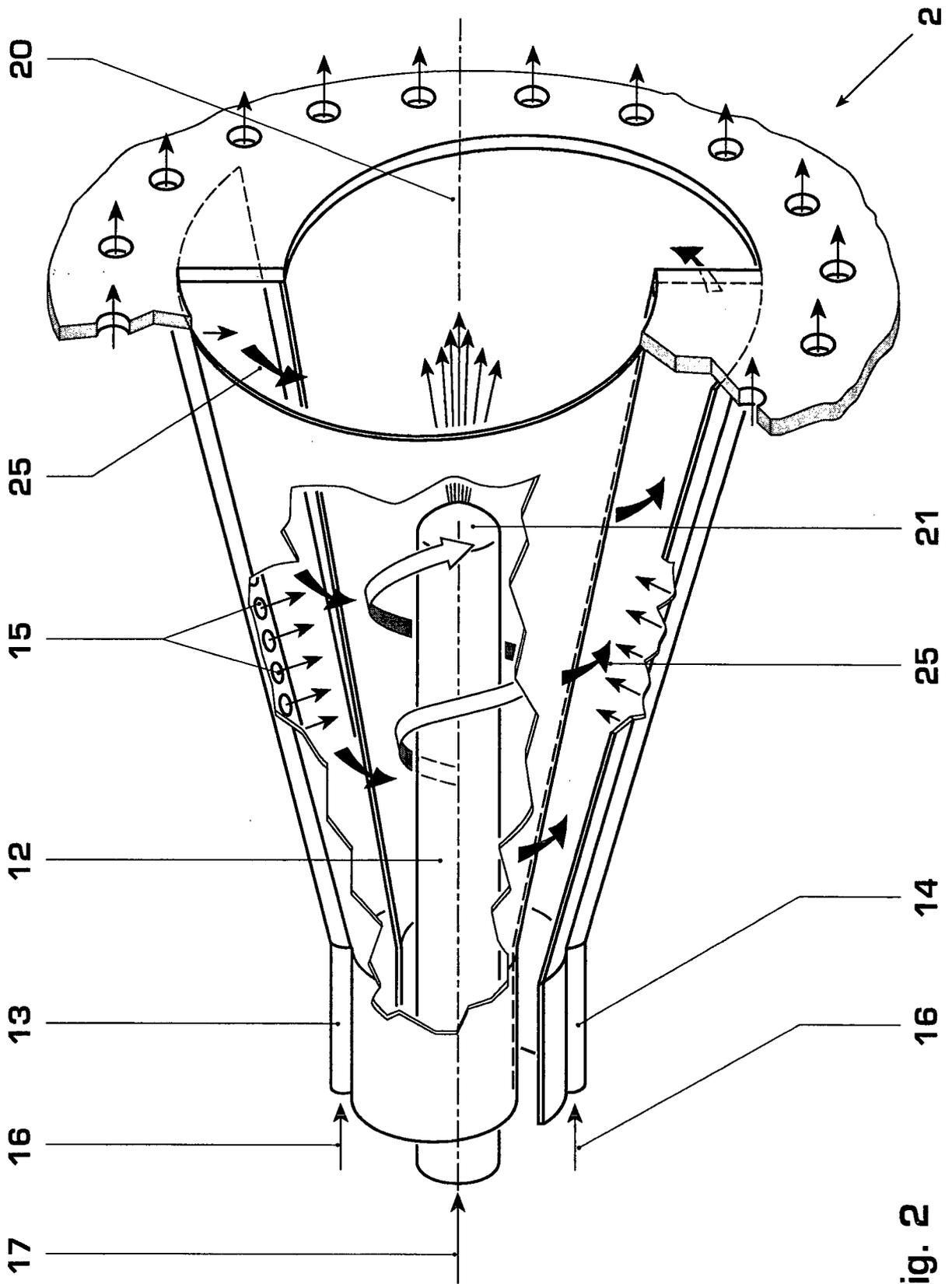


Fig. 2

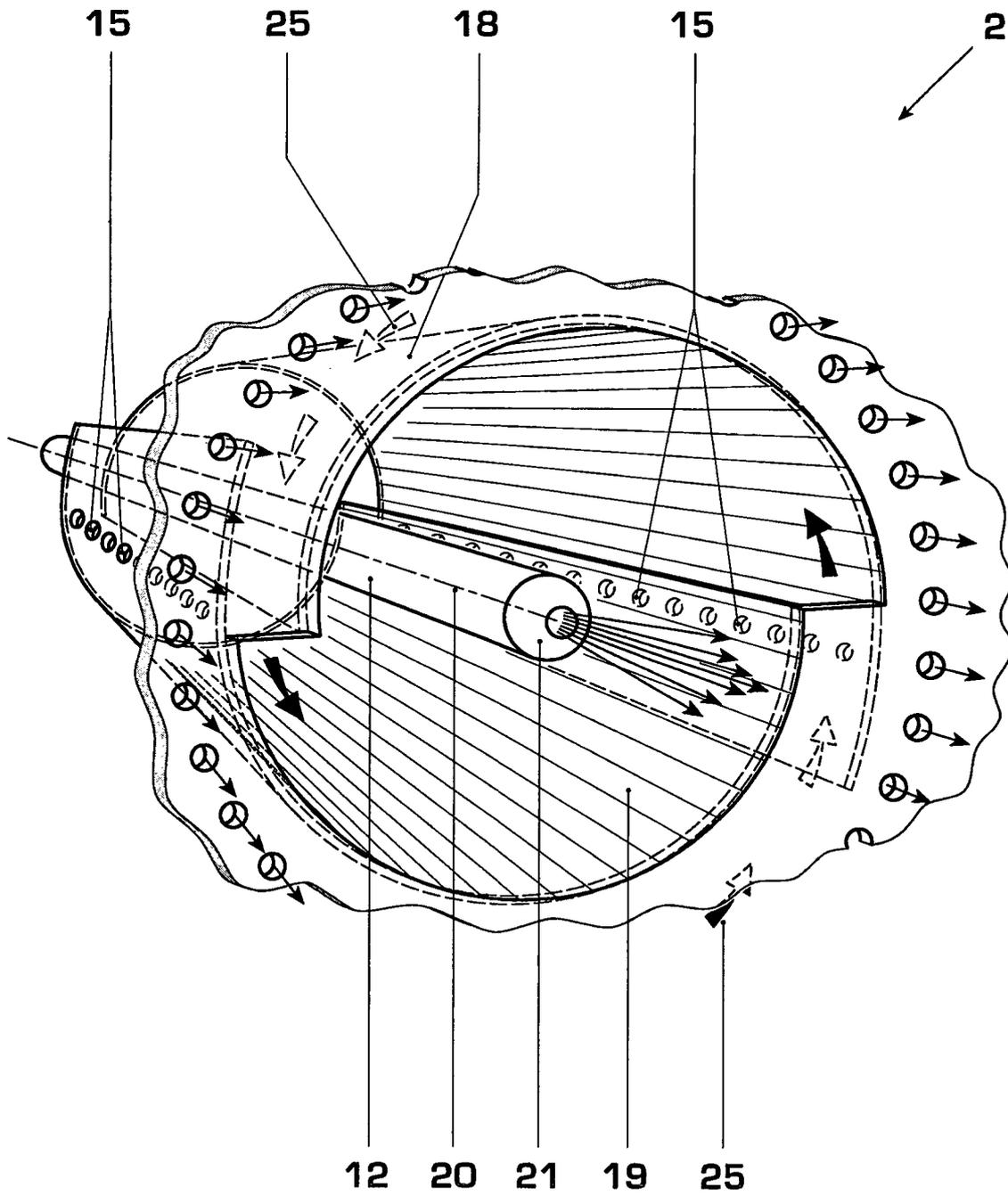


Fig. 3

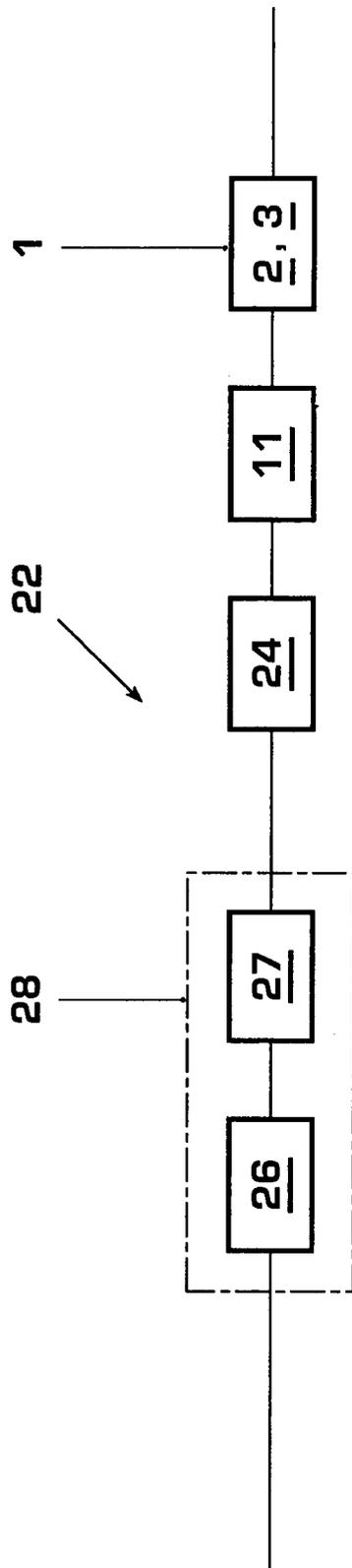


Fig. 4

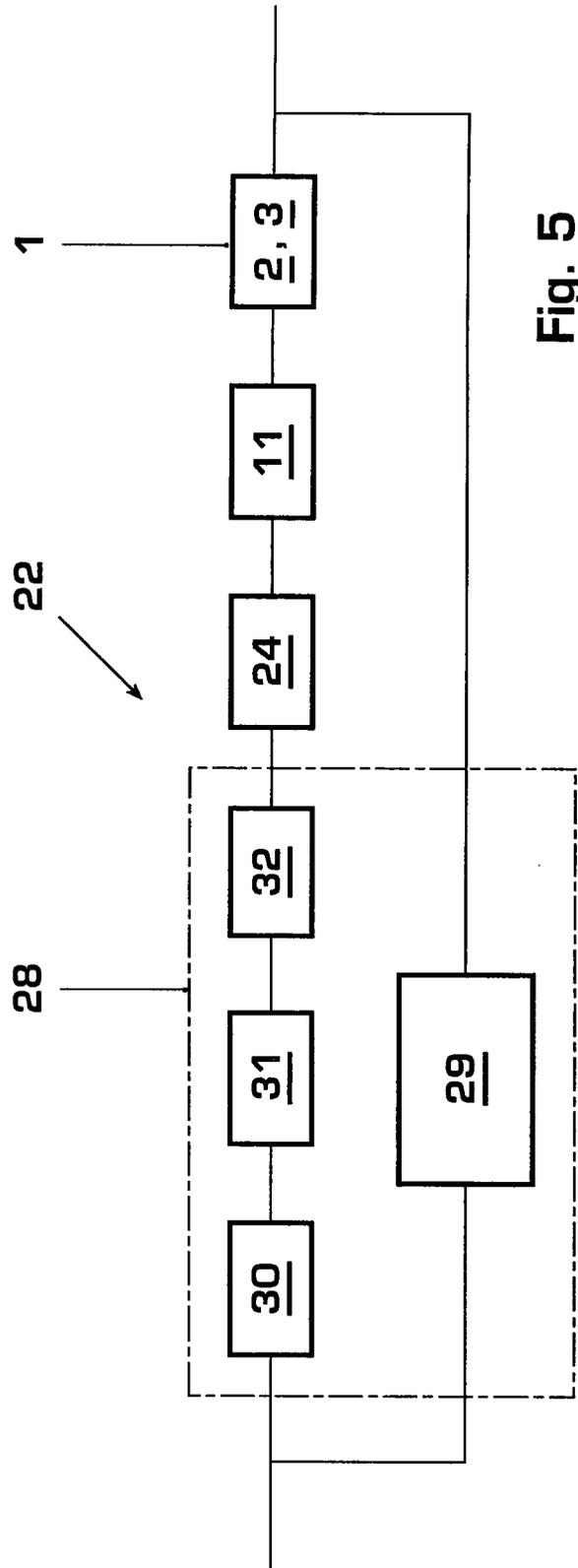


Fig. 5