

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

706 861 B1

(51) Int. Cl.: F23R 3/42 (2006.01)

## Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01392/13

(73) Inhaber:  
General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, New York 12345 (US)

(22) Anmeldedatum: 13.08.2013

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.02.2014

(72) Erfinder:  
Sarah Lori Crothers, Greenville, SC 29615 (US)  
Gilbert Otto Kraemer, Greenville, SC 29615 (US)

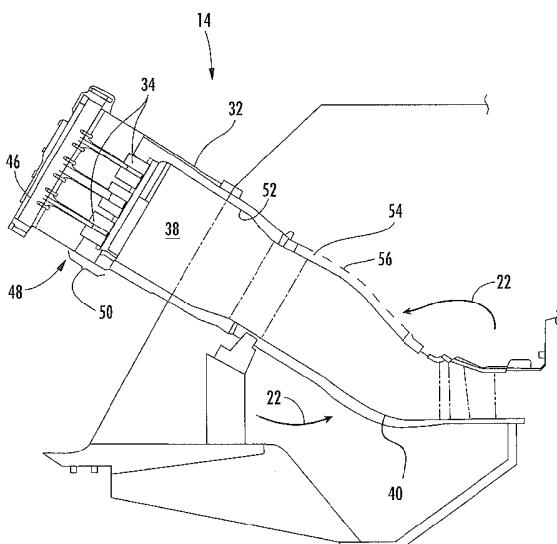
(30) Priorität: 21.08.2012 US 13/590,309

(24) Patent erteilt: 31.03.2017

(74) Vertreter:  
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14  
6300 Zug (CH)

### (54) Brennkammersystem mit reduzierter Verbrennungsdynamik.

(57) Zu einem System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gehören eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung jeweils eine Kappenanordnung (50), die sich radial über wenigstens einen Abschnitt der Brennkammeranordnung (50) erstreckt, und eine Brennkammer (38) aufweist, die stromabwärts der Kappenanordnung (50) angeordnet ist. Jede Kappenanordnung (50) weist jeweils mehrere Röhre, die sich axial durch die Kappenanordnung (50) erstrecken, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung (50) zu der jeweiligen Brennkammer (38) bereitzustellen, und jeweils einen Brennstoffinjektor (36) pro Rohr auf, der sich durch das jeweilige Rohr erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung in das jeweilige Rohr hinein bereitzustellen. Jede Kappenanordnung (50) weist eine axiale Länge auf, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung (40) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.



## **Beschreibung**

### **Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Brennkammersystem mit Verbrennungsdynamik. Im Speziellen kann die Erfindung in einer Gasturbine oder in einem sonstigen Turbotriebwerk verwendet sein.

### **Hintergrund zu der Erfindung**

[0002] Brennkammeranordnungen werden im Allgemeinen in industriellen und kommerziellen Anwendungen verwendet, um Brennstoff zu entzünden, so dass Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck entstehen. Beispielsweise enthalten Gasturbinen und sonstige Turbotriebwerke gewöhnlich eine oder mehrere Brennkammeranordnungen, um Leistung oder Schub zu erzeugen. Eine typische Gasturbine, die zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt wird, enthält einen Axialverdichter an dem vorderen Ende, mehrere Brennkammeranordnungen rund um die Mitte, und eine Turbine an dem hinteren Ende. In den Verdichter tritt Umgebungsluft als ein Arbeitsfluid ein, und der Verdichter verleiht dem Arbeitsfluid in fortschreitendem Masse kinetische Energie, um ein verdichtetes Arbeitsfluid hervorzubringen, das einen hochenergetischen Zustand aufweist. Das verdichtete Arbeitsfluid verlässt den Verdichter und strömt in den Brennkammeranordnungen durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen und/oder Rohre, wobei sich das verdichtete Arbeitsfluid mit Brennstoff vermischts, bevor es gezündet wird, um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Die Verbrennungsgase strömen zu der Turbine, wo sie expandieren, um Arbeit zu verrichten. Beispielsweise kann die Expansion der Verbrennungsgase in der Turbine eine Welle drehend antreiben, die mit einem Generator verbunden ist, um Strom zu erzeugen.

[0003] Vielfältige Faktoren beeinflussen die Konstruktion und den Betrieb der Brennkammeranordnungen. Beispielsweise steigern höhere Verbrennungsgastemperaturen allgemein den thermodynamischen Wirkungsgrad der Brennkammeranordnungen. Allerdings fördern höhere Verbrennungsgastemperaturen auch Flammhaltungsbedingungen, unter denen die Verbrennungsflamme in Richtung des Brennstoffs wandert, der mittels der Brennstoffdüsen zugeführt wird, was möglicherweise in verhältnismässig kurzer Zeit zu einem beschleunigten Verschleiss der Brennstoffdüsen führt. Darüber hinaus steigern höhere Verbrennungsgastemperaturen allgemein die Trennungsrate zweiatomigen Stickstoffs, was die Entstehung von Stickstoffoxiden (NOX) fördert. Im Gegensatz dazu reduziert eine geringere Verbrennungsgastemperatur, die einem reduzierten Brennstoffzustrom und/oder einer Teillastbetriebsbedingung (Drosselung) zugeordnet ist, allgemein die chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten der Verbrennungsgase, was die Entstehung von Kohlenmonoxid und unverbrennten Kohlenwasserstoffen fördert.

[0004] Obwohl einige Brennkammeranordnungen wirkungsvoll höhere Betriebstemperaturen erlauben, während sie gegen Flammhaltung vorbeugen und unerwünschte Emissionen kontrollieren, können sie unter speziellen Betriebsbedingungen Verbrenningsinstabilitäten hervorbringen, die auf eine Wechselwirkung oder Kopplung des Verbrennungsprozesses oder der Flammendynamik mit einer oder mehreren akustischen Resonanzfrequenzen der Brennkammeranordnung zurückzuführen sind. Beispielsweise kann ein Mechanismus von Verbrenningsinstabilitäten auftreten, wenn die akustischen Druckpulse an einer Brennstoffzufuhröffnung eine Massendurchsatzschwankung verursachen, was zu einer Schwankung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses in der Flammenzone führt. Wenn die sich ergebende Schwankung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses und die akustischen Druckpulse ein gewisses Phasenverhalten aufweisen (z.B. nahezu phasengleich sind), kommt es zu einer selbsterregten Rückkopplungsschleife. Dieser Mechanismus und das sich ergebende Mass der Verbrennungsdynamik hängt von der aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit ( $\tau$ ) bekannten Verzögerungszeit ab, die zwischen der Injektion des Brennstoffs und dem Zeitpunkt besteht, in dem der Brennstoff die Flammenzone erreicht. Mit einem Anstieg der konvektiven Zeit nimmt die Frequenz der Verbrenningsinstabilitäten ab, und mit einem Abnehmen der konvektiven Zeit steigt die Frequenz der Verbrenningsinstabilitäten. Das Ergebnis ist eine Verbrennungsdynamik, die die Nutzungslebensdauer einzelner oder mehrerer Brennkammeranordnungskomponenten und/oder stromabwärts angeordneter Komponenten verringern kann. Beispielsweise kann die Verbrennungsdynamik Druckpulse im Inneren der Brennstoffdüsen und/oder der Brennkammern hervorbringen, die die Dauerschwingfestigkeitszeit dieser Komponenten, die Stabilität der Verbrennungsflamme, die Konstruktionsgrenzen für Flammhaltung und/oder unerwünschte Emissionen nachteilig beeinflussen kann. Alternativ oder zusätzlich können Verbrennungsdynamiken, die phasengleich und kohärent sind, bei speziellen Frequenzen und mit ausreichenden Amplituden unerwünschte Resonanzschwingungen in der Turbine und/oder sonstigen stromabwärts angeordneten Komponenten erzeugen. Indem die Frequenz der Verbrenningsinstabilität in einer oder mehreren Brennkammeranordnungen gegenüber den übrigen verschoben wird, wird die Kohärenz des Brennkammersystems insgesamt reduziert und die Kopplung von Brennkammer zu Brennkammer vermindert. Dies verringert die Fähigkeit des Brennkammeranordnungstons, eine Resonanzschwingung in stromabwärts gelegenen Komponenten hervorzurufen, und fördert darüber hinaus eine destruktive Interferenz von Brennkammeranordnung zu Brennkammeranordnung, so dass die Amplituden der Verbrennungsdynamik reduziert werden. Folglich würde ein System und ein Verfahren, das die Phase und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik anpasst, die durch jede Brennkammeranordnung hervorgerufen wird, vorteilhaft den thermodynamischen Wirkungsgrads der Brennkammeranordnungen verbessern, gegen beschleunigten Verschleiss schützen, die Flammenstabilität fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen grossen Bereich von Betriebspegeln verringern.

**[0005]** Die Bereitstellung wenigstens eines solchen Brennkammersystems mit reduzierter Verbrennungsdynamik ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung.

#### **Kurze Beschreibung der Erfindung**

**[0006]** Eigenschaften und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in der folgenden Beschreibung unterbreitet.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Brennkammersystem mit reduzierter Verbrennungsdynamik, mit einer ersten und einer zweiten Brennkammeranordnung, die um eine Achse gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung jeweils eine Kappenanordnung, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt der jeweiligen Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer aufweist, die stromabwärts der jeweiligen Kappenanordnung angeordnet ist. Jede Kappenanordnung enthält mehrere Rohre, die sich axial durch die jeweilige Kappenanordnung erstrecken, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung zu der jeweiligen Brennkammer zu einem jeweiligen Brennstoffinjektor bereitzustellen, der sich durch jeweils eines jeder Rohre erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung in das jeweilige Rohr hinein bereitzustellen. Jede Kappenanordnung weist eine axiale Länge auf, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung in der ersten Brennkammeranordnung von der axialen Länge der Kappenanordnung in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

**[0008]** Die mehreren Rohre in jeder Kappenanordnung können in mehreren Rohrbündeln gruppiert sein, die radial über die Kappenanordnung hinweg angeordnet sind, wobei der Brennstoffinjektor durch jedes Rohr in einem vierten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet ist, und wobei sich der vierte axiale Abstand für mindestens zwei Rohrbündel in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet.

**[0009]** Darüber hinaus weist jede Kappenanordnung zusätzlich eine Brennstoffdüse auf, die sich axial durch die Kappenanordnung erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper, ein Mantel, der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers umgibt, mehrere Leitschaufeln, die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper und dem Mantel erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung durch mindestens eine der mehreren Leitschaufeln in einem ersten axialen Abstand von der Brennkammer, eine zweite Brennstoffzufuhröffnung durch den zentralen Grundkörper in einem zweiten axialen Abstand von der Brennkammer, wobei die mehreren Leitschaufeln in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet sind.

**[0010]** Darüber hinaus oder alternativ können sich wenigstens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0011]** Darüber hinaus oder alternativ können sich wenigstens zwei der axialen Abstände unterscheiden, seien dies der erste axiale Abstand von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0012]** Darüber hinaus oder alternativ kann sich der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheiden, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, und der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0013]** Darüber hinaus oder alternativ kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, und mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste, der zweite und/oder der dritte axiale Abstand, ist für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterschiedlich.

**[0014]** Darüber hinaus oder alternativ kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, und mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies der erste, der zweite, oder der dritte axiale Abstand, unterscheiden sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung.

**[0015]** Darüber hinaus oder alternativ kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, und es unterscheiden sich die ersten, die zweiten oder die dritten axialen Abstände für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung.

**[0016]** Die Erfindung ferner betrifft ein Brennkammersystem mit reduzierter Verbrennungsdynamik, welches eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung aufweist, die um eine Achse gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung jeweils eine Kappenanordnung, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt der jeweiligen Brennkammeranordnung erstreckt, und eine Brennkammer aufweist, die stromabwärts der jeweiligen Kappenanordnung angeordnet ist. Jede Kappenanordnung enthält eine Brennstoffdüse, die sich axial durch die jeweilige Kappenanordnung erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung zu der jeweiligen Brennkammer bereitzustellen.

**[0017]** Zu jeder Brennstoffdüse gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper, ein Mantel, der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers umgibt, mehrere Leitschaufeln, die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper und dem Mantel erstrecken, eine erste Brennstoffzufuhröffnung durch mindestens eine der mehreren Leitschaufeln in einem ersten axialen Abstand von der Brennkammer, eine zweite Brennstoffzufuhröffnung durch den zentralen Grundkörper in einem zweiten axialen Abstand von der Brennkammer, wobei die mehreren Leitschaufeln in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer angeordnet sind.

**[0018]** Das System weist ausserdem Mittel bzw. eine Konstruktion auf, um in der ersten Brennkammeranordnung eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

**[0019]** Hierzu kann jede Kappenanordnung eine axiale Länge aufweisen, wobei sich die axiale Länge der Kappenanordnung in der ersten Brennkammeranordnung von der axialen Länge der Kappenanordnung in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

**[0020]** In dem System kann sich ferner mindestens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0021]** In dem System kann sich mindestens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0022]** In dem System kann sich der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheiden, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet sich von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, und der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung unterscheidet sich von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0023]** In dem System kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, wobei mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste, der zweite und/oder der dritte axiale Abstand, für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterschiedlich sind/ist.

**[0024]** In dem System kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, wobei sich mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies der erste, der zweite oder der dritte axiale Abstand, für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterscheiden. Weiter kann jede Brennkammeranordnung mehrere Brennstoffdüsen aufweisen, wobei die ersten, die zweiten, und die dritten axialen Abstände sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen in der ersten Brennkammeranordnung unterscheiden.

**[0025]** In dem System kann jede Kappenanordnung ausserdem mehrere Rohre aufweisen, die sich axial durch die Kappenanordnung erstrecken, um eine strömungsmässige Verbindung durch die Kappenanordnung zu der Brennkammer bereitzustellen; ein Brennstoffinjektor erstreckt sich durch jedes Rohr, um eine strömungsmässige Verbindung in jedes Rohr in einem vierten axialen Abstand von der Brennkammer bereitzustellen; wobei der vierte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung sich von dem vierten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet.

**[0026]** In dem System sind die mehreren Rohre in jeder Kappenanordnung optional in mehreren Rohrbündeln gruppiert, die radial über die Kappenanordnung hinweg angeordnet sind, und der vierte axiale Abstand unterscheidet sich für mindestens zwei Rohrbündel in der ersten Brennkammeranordnung.

**[0027]** Darüber hinaus oder alternativ kann sich mindestens einer der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem ersten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung, oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung.

**[0028]** Dem Fachmann werden die Merkmale und Aspekte solcher und weiterer Ausführungsbeispiele nach dem Lesen der Beschreibung verständlicher.

#### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

**[0029]** Eine vollständige und in die Praxis umsetzbare Beschreibung der vorliegenden Erfindung, die den für den Fachmann besten Modus der Erfindung beinhaltet, ist in der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Figuren mehr im Einzelnen beschrieben:

- Fig. 1 zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Gasturbine gemäss unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Brennkammeranordnung gemäss unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 3 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in Fig. 2 gezeigten Kappenanordnung gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 4 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in Fig. 2 gezeigten Kappenanordnung gemäss einem veränderten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 5 zeigt eine stromaufwärts gelegene Draufsicht der in Fig. 2 gezeigten Kappenanordnung gemäss einem veränderten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 6 zeigt in einer seitlichen Schnittansicht das Kopfende der in Fig. 3 gezeigten Brennkammeranordnung längs der Schnittlinie A–A gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 7 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 8 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 9 zeigt in einer seitlichen Schnittansicht das Kopfende der in Fig. 5 gezeigten Brennkammeranordnung längs der Schnittlinie B–B gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 10 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 11 zeigt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und
- Fig. 12 veranschaulicht einen exemplarischen Graphen der Dynamik einer Brennkammeranordnung gemäss unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

#### **Detaillierte Beschreibung der Erfindung**

**[0030]** Es wird nun im Einzelnen auf vorliegende Ausführungsbeispiele der Erfindung eingegangen, wobei ein oder mehrere der Beispiele in den beigefügten Zeichnungen veranschaulicht sind. Die detaillierte Beschreibung verwendet alphanumerische Bezeichnungen, um auf Merkmale in den Figuren Bezug zu nehmen. In den Figuren und in der Beschreibung wurden übereinstimmende oder ähnliche Bezeichnungen verwendet, um auf übereinstimmende oder ähnliche Elemente der Erfindung Bezug zu nehmen. In dem hier verwendeten Sinne können die Begriffe «erster», «zweiter» und «dritter» untereinander austauschbar verwendet werden, um eine Komponente von einer weiteren zu unterscheiden, und sollen nicht den Ort oder die Bedeutung der einzelnen Komponenten bezeichnen. Darüber hinaus beziehen sich die Begriffe «stromaufwärts» und «stromabwärts» auf die relative Anordnung der Komponenten in einem Strömungspfad. Beispielsweise befindet sich eine Komponente A stromaufwärts einer Komponente B, falls ein Fluid von Komponente A zu Komponente B strömt. Im Gegensatz dazu ist eine Komponente B stromabwärts von Komponente A angeordnet, falls die Komponente B einen Fluidstrom von Komponente A her aufnimmt.

**[0031]** Sämtliche Beispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und sollen diese nicht beschränken. Der Fachmann wird ohne weiteres erkennen, dass Modifikationen und Änderungen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne von dem Schutzzumfang oder dem Gegenstand der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können Merkmale, die als Teil eines Ausführungsbeispiels veranschaulicht oder beschrieben sind, auf ein anderes Ausführungsbeispiel angewendet werden, um noch ein weiteres Ausführungsbeispiel hervorzu bringen. Die vorliegende Erfindung soll daher solche Modifikationen und Abweichungen abdecken, soweit diese in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche und deren äquivalenten Formen fallen.

**[0032]** Vielfältige Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beinhalten ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik, um den thermodynamischen Wirkungsgrad zu verbessern, die Flammenstabilität zu fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen grossen Bereich von Betriebspiegeln zu reduzieren. Das System und das Verfahren weisen allgemein mehrere Brennkammeranordnungen auf, und jede Brennkammeranordnung enthält eine oder mehrere Brennstoffdüsen und/oder Rohre sowie eine Brennkammer, die stromabwärts der Brennstoffdüse(n) und/oder der Rohre angeordnet ist. Jede Brennstoffdüse enthält eine oder mehrere Brennstoffzuführöffnungen und/oder sich radial erstreckende Leitschaufeln, und jedes Rohr enthält einen oder mehrere Brennstoffinjektoren. Das System und das Verfahren weisen vielfältige Mittel auf, um in der ersten Brennkammeranordnung eine Verbrennungsstabilitätsfrequenz zu erzeu-

gen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der zweiten Brennkammeranordnung unterscheidet. Somit können vielfältige Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung einen längeren Betrieb, eine verlängerte Lebensdauer und/oder grössere Wartungsintervalle, verbesserte Konstruktionsgrenzen der Flammhaltung und/oder eine Reduzierung unerwünschter Emissionen ermöglichen.

**[0033]** Fig. 1 zeigt in einer vereinfachten Schnittansicht eine exemplarische Gasturbine 10, die unterschiedliche Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung verwenden kann. Wie gezeigt, kann die Gasturbine 10 allgemein aufweisen: an der Vorderseite einen Verdichterabschnitt 12, mehrere Brennkammern 14, die in einem Verbrennungsabschnitt um die Mitte radial angeordnet sind, und an der Rückseite einen Turbinenabschnitt 16. Der Verdichterabschnitt 12 und der Turbinenabschnitt 16 können ein gemeinsames Laufrad 18 nutzen, das mit einem Generator 20 verbunden ist, um Strom zu erzeugen. Ein Arbeitsfluid 22, z.B. Umgebungsluft, kann in den Verdichterabschnitt 12 eintreten und abwechselnde Stufen von stationären Leitschaufeln 24 und rotierenden Schaufeln 26 durchqueren. Ein Verdichtergehäuse 28 enthält das Arbeitsfluid 22, während die stationären Leitschaufeln 24 und die rotierenden Laufschaufeln 26 das Arbeitsfluid 22 beschleunigen und umlenken, um einen fortlaufenden Strom von verdichtetem Arbeitsfluid 22 hervorzubringen. Der Hauptanteil des verdichten Arbeitsfluids 22 strömt durch einen Verdichterauslasssammelraum 30 zu den Brennkammeranordnungen 14. Ein Brennkammergehäuse 32 kann jede Brennkammeranordnung 14 entlang des Umfangs teilweise oder ganz umgeben, um das verdichtete Arbeitsfluid 22 aufzunehmen, das aus dem Verdichterabschnitt 12 strömt. In einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohren 36 kann Brennstoff mit dem verdichten Arbeitsfluid 22 vermischt werden. Als Brennstoff eignen sich beispielsweise Hochofengas, Koksgas, Erdgas, verdampftes verflüssigtes Erdgas (LNG), Wasserstoff und/oder Propan. Das Gemisch aus Brennstoff und verdichtetem Arbeitsfluid 22 kann anschliessend in eine Brennkammer 38 strömen, wo es sich entzündet, um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und hohem Druck zu erzeugen. Ein Übergangskanal 40 umgibt wenigstens einen Abschnitt der Brennkammer 38, und die Verbrennungsgase strömen durch den Übergangskanal 40 zu dem Turbinenabschnitt 16.

**[0034]** Der Turbinenabschnitt 16 kann abwechselnde Stufen stationärer Leitapparate 42 und rotierender Schaufeln 44 enthalten. Die stationären Leitapparate 42 lenken die Verbrennungsgase auf die nächste Stufe rotierender Schaufeln 44, und die Verbrennungsgase expandieren, während sie die rotierenden Schaufeln 44 überstreichen, so dass die rotierenden Schaufeln 44 und das Laufrad 18 drehend angetrieben werden. Die Verbrennungsgase strömen anschliessend zu der nächsten Stufe stationärer Leitapparate 42, die die Verbrennungsgase zu der nächsten Stufe rotierender Schaufeln 44 umlenken, und der Vorgang wiederholt sich für die folgenden Stufen.

**[0035]** Die Brennkammeranordnungen 14 können beliebige aus dem Stand der Technik bekannte Brennkammeranordnungen sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Brennkammerkonstruktion beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. Fig. 2 zeigt in einer vereinfachten seitlichen Schnittansicht eine exemplarische Brennkammeranordnung 14 gemäss der vorliegenden Erfindung. Das Brennkammergehäuse 32 umgibt wenigstens einen Abschnitt der Brennkammeranordnung 14, um das verdichtete Arbeitsfluid 22 aufzunehmen, das aus dem Verdichter 12 strömt. Wie in Fig. 2 gezeigt, kann das Brennkammergehäuse 32 mit einer Endabdeckung 46 verbunden sein oder eine solche enthalten, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt jeder Brennkammeranordnung 14 erstreckt, um ein Zwischenglied vorzusehen, das dazu dient, jeder Brennkammeranordnung 14 Brennstoff, Verdünnungsmittel und/oder sonstige Zusatzstoffe zuzuführen. Darüber hinaus können das Brennkammergehäuse 32 und die Endabdeckung 46 zusammenwirken, um wenigstens einen Abschnitt eines Kopfendes 48 innerhalb jeder Brennkammeranordnung 14 zu bilden. Die Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 können radial in einer Kappenanordnung 50 angeordnet sein, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt jeder Brennkammer 14 stromabwärts des Kopfendes 48 erstreckt. Eine Brennkammerwand 52 kann mit der Kappenanordnung 50 verbunden sein, um wenigstens einen Abschnitt der Brennkammer 38 stromabwärts der Kappenanordnung 50 zu bilden. Auf diese Weise kann das Arbeitsfluid 22 beispielsweise durch in einer Prallhülse 56 ausgebildete Strömungslöcher 54 und entlang der Aussenseite des Übergangskanals 40 und der Brennkammerwand 52 strömen, um den Übergangskanal 40 und die Brennkammerwand 52 konvektiv zu kühlen. Wenn das Arbeitsfluid 22 das Kopfende 48 erreicht, kehrt das Arbeitsfluid 22 die Richtung um, und die Brennstoffdüsen 34 und/oder die Rohre 36 stellen eine strömungsmässige Verbindung für das Arbeitsfluid 22 bereit, um durch die Kappenanordnung 50 und in die Brennkammer 38 zu strömen.

**[0036]** Obwohl allgemein als zylindrisch dargestellt, kann der radiale Querschnitt der Brennstoffdüsen 34 und/oder der Rohre 36 eine beliebige geometrische Form aufweisen, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeinen speziellen radialen Querschnitt beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. Darüber hinaus können unterschiedliche Ausführungsbeispiele der Brennkammeranordnung 14 andere Anzahlen und Gruppierungen von Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 in der Kappenanordnung 50 enthalten, und Fig. 3-5 zeigen stromaufwärts gelegene Draufsichten exemplarischer Gruppierungen der Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 in der Kappenanordnung 50 innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 3 gezeigt, können beispielsweise mehrere Brennstoffdüsen 34 radial um eine einzelne Brennstoffdüse 34 gruppiert sein. In einer Abwandlung können die Rohre 36, wie in Fig. 4 gezeigt, radial über die gesamte Kappenanordnung 50 angeordnet sein, und die Rohre 36 können auf mehrere Gruppen verteilt sein, um über den Betriebsbereich der Brennkammer 14 hinweg mehrere Brennstoffzufuhrbetriebsarten durchzuführen. Beispielsweise können die Rohre 36 in mehreren kreisförmigen Rohrbündeln 58 gruppiert sein, die, wie in Fig. 4 gezeigt, um den Umfang eines zentralen Rohrbündels 60 angeordnet sind. In einer Abwandlung können, wie in Fig. 5 gezeigt, mehrere tortenstückförmige Rohrbündel 62 eine einzelne Brennstoffdüse 34 entlang des Umfangs umgeben. Während

Grundlastbetriebsbedingungen kann jeder Brennstoffdüse 34 und jedem in Fig. 3–5 gezeigten Rohrbündel 58, 60, 62 Brennstoff zugeführt werden, wohingegen der Brennstoffzustrom aus der zentralen Brennstoffdüse 34 oder aus dem zentralen Rohrbündel 60 und/oder aus einer oder mehreren kreisförmig angeordneten Brennstoffdüsen 34 oder kreisförmigen oder tortenstückförmigen Rohrbündeln 58, 62 bei reduzierten oder gedrosselten Betriebszuständen vermindert oder vollständig eliminiert werden kann. Einem Fachmann werden anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres mehrere andere Formen und Gruppierungen für die Brennstoffdüsen 34, Rohre 36 und Rohrbündel 58, 60, 62 einfallen, und die spezielle Form und Gruppierung der Brennstoffdüsen 34, der Rohre 36 und der Rohrbündel 58, 60, 62 beinhalten keine Beschränkungen der vorliegenden Erfindung, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0037] Fig. 6 zeigt in einer seitlichen Querschnittsansicht das Kopfende 48 der in Fig. 3 gezeigten Brennkammeranordnung 14 längs der Schnittlinie A–A gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 3 und 6 gezeigt, kann die Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 enthalten, die radial um eine zentrale Brennstoffdüse 34 gruppiert sind, die im Wesentlichen fluchtend ausgerichtet ist mit einer axialen Mittellinie 64 der Brennkammeranordnung 14. Jede Brennstoffdüse 34 kann einen zentralen Grundkörper 66, der sich axial stromabwärts der Endabdeckung 46 erstreckt, und einen Mantel 68 enthalten, der wenigstens einen Abschnitt des zentralen Grundkörpers 66 umgibt, um einen ringförmigen Durchlasskanal 70 zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 zu bilden. Eine oder mehrere Schaufeln 72 können sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 erstrecken, und die Schaufeln 72 können abgewinkelt oder gekrümmmt sein, um dem zwischen dem zentralen Grundkörper 66 und dem Mantel 68 durch den ringförmigen Durchlasskanal 70 strömenden Arbeitsfluid 22 einen Drall zu verleihen. Die Schaufeln 72 und/oder der zentrale Grundkörper 66 können eine oder mehrere Brennstoffzuführöffnungen 74 enthalten. Auf diese Weise kann Brennstoff durch den zentralen Grundkörper 66 und/oder durch die Schaufeln 72 zugeführt werden, und die Brennstoffzuführöffnungen 74 stellen eine strömungsmässige Verbindung für den Brennstoff bereit, so dass dieser in den ringförmigen Durchlasskanal 70 strömt und sich mit dem Arbeitsfluid 22 mischt, bevor das Gemisch die Brennkammer 38 erreicht.

[0038] Wenn die Brennstoffdüsen 34 in die Brennkammeranordnung 14, z.B. in die in Fig. 2 gezeigte exemplarische Brennkammeranordnung 14, eingebaut sind, kann der in der Brennkammer 38 erfolgende Verbrennungsprozess Wärmefreisetzungsschwankungen hervorbringen, die ihrerseits mit einer oder mehreren Schallschwingungsmoden der Brennkammeranordnung 14 gekoppelt sind, so dass es zu Verbrennungsinstabilitäten kommt. Ein spezieller Mechanismus, der Verbrennungsinstabilitäten hervorbringen kann, tritt auf, wenn die Schallpulsationen, die durch die Wärmefreisetzungsschwankungen angeregt werden, Schwankungen des Massendurchsatzes durch die Brennstoffzuführöffnungen 74 hervorrufen. Beispielsweise können sich die Druckpulse, die den Verbrennungsflammen zugeordnet sind, stromaufwärts ausgehend von der Brennkammer 38 in jeden Ringkanal 70 hinein ausbreiten. Wenn die Druckpulse die Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder Schaufeln 72 erreichen, können sie den durch die Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder über die Schaufeln 72 strömenden Brennstoffzustrom beeinträchtigen, so dass es zu Schwankungen der Konzentration des Brennstoff-Luft-Gemisches kommt, das stromabwärts in Richtung der Verbrennungsflamme strömt. Diese Schwankung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bewegt sich anschliessend stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungsschwankung verursacht. Unter der Voraussetzung, dass sich die resultierende Wärmefreisetzungsschwankung in etwa in Phase mit den Druckschwankungen befindet, wird sie Wärmefreisetzungsschwankungen zusätzlich fördern, so dass eine ununterbrochene Rückkopplungsschleife entsteht. Falls die sich ergebende Wärmefreisetzungsschwankung und die Druckschwankungen hingegen phasenverschoben sind, wird das Mass der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die der speziellen Brennstoffdüse 34 zugeordnet ist, durch destruktive Überlagerung vermindert. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die den Brennstoffdüsen 34 zugeordnet sind, können ihrerseits entweder konstruktiv oder destruktiv miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu vergrössern bzw. zu verkleinern.

[0039] Die sich ergebenden Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen werden eine Funktion der Zeitdauer sein, die der akustische Druckpuls braucht, um die Brennstoffzuführöffnung zu erreichen, und die anschliessend die sich ergebende Störung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses braucht, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit  $\tau$  bekannt. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die durch die Wechselwirkung zwischen den Schwankungen des Brennstoff-Luft-Verhältnisses und der akustischen Druckschwankung entstehen, sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 (d.h. dem Ende der Brennstoffdüsen 34 oder dem Ende der Mäntel 68). In speziellen Ausführungsbeispielen können diese Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Verbrennungsdynamik, die der einzelnen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu beeinflussen. In dem in Fig. 3 und 6 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel kann die Brennkammeranordnung 14 beispielsweise mehrere Brennstoffdüsen 34 enthalten, wobei ein axialer Abstand 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für jede Brennstoffdüse 34 unterschiedlich ist. Dementsprechend wird sich die Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die für jede Brennstoffdüse 34 erzeugt wird, geringfügig unterscheiden, so dass eine konstruktive Interferenz zwischen den Brennstoffdüsen 34 gemildert oder daran gehindert wird, die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu steigern. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz für jede Brennstoffdüse 34 und/

oder eine gewünschte Verbrennungsdynamik für die spezielle Brennkammeranordnung 14 zu erreichen. Beispielsweise können die axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 in speziellen Ausführungsformen für einige oder sämtliche Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0040] Die Verbrennungsdynamiken, die mehreren Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, die in der Gasturbine 10 eingebaut sind, können ihrerseits miteinander entweder aufbauend oder abbauend in Wechselwirkung treten, um die Amplitude und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu steigern oder zu vermindern. In speziellen Ausführungsbeispielen können die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen und/oder Verbrennungsdynamiken, die einer oder mehreren Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, eingestellt werden und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsdynamik einer weiteren Brennkammeranordnung 14 und somit die Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu beeinflussen. Beispielsweise zeigt Fig. 7 ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik und/oder der Kohärenz der Verbrennungsdynamik gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem in Fig. 7 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel sind mehrere Brennkammeranordnungen 14, wie in Fig. 3 und 6 gezeigt, um eine Achse 78 angeordnet. Die Achse 78 kann beispielsweise mit derjenigen des Rotors 18 in der Gasturbine 10, die den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbindet, zusammenfallen, wobei die vorliegende Erfindung jedoch nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 78 oder die spezielle Gruppierung der Brennkammeranordnungen 14 um die Achse 78 beschränkt ist.

[0041] Wie in Fig. 7 gezeigt, enthält jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34, wobei die Brennkammer 38, wie zuvor gemäß Fig. 2, 3 und 6 beschrieben, stromabwärts der Brennstoffdüsen 34 angeordnet ist. Darüber hinaus enthält das System außerdem Mittel, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Dadurch dass in der einen Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz erzeugt wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet, wird eine kohärente oder konstruktive Interferenz, die die Amplitude der Verbrennungsdynamik erhöhen oder die Kohärenz der Verbrennungsdynamik von zwei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 steigern könnte, zwischen den Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen reduziert oder verhindert. Die Konstruktion für das Mittel kann eine Differenz unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 zwischen einem oder mehreren der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 beinhalten. In dem in Fig. 7 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel unterscheidet sich unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 beispielsweise jeder axiale Abstand 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38. Im Ergebnis erzeugt das Mittel verschiedene Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für eine oder mehrere der Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, vorausgesetzt, die axialen Abstände 76 zwischen beiden Brennkammeranordnungen 14 stimmen nicht sämtliche überein; und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0042] Fig. 8 veranschaulicht ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 8 gezeigt, weist auch hier jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 auf, wobei die Brennkammer 38, wie zuvor gemäß Fig. 2, 3, 6 und 7 beschrieben, stromabwärts der Brennstoffdüsen 34 angeordnet ist. Weiter können die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und/oder der Schaufeln 72 in jeder Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein. Beispielsweise unterscheiden sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in dem in Fig. 8 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel innerhalb derselben Brennkammeranordnung 14, jedoch wiederholen sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in beiden Brennkammeranordnungen 14.

[0043] Das in Fig. 8 gezeigte Ausführungsbeispiel weist auch hier Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. In diesem speziellen Ausführungsbeispiel kann die Konstruktion für die Mittel eine Differenz einer axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten. Dadurch dass sich die axialen Positionen der Brennstoffkanäle 74 und der Schaufeln 72 in beiden Brennkammeranordnungen 14 wiederholen, erzeugt die Differenz der axialen Längen 80 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 eine entsprechende Differenz der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14.

nungen 14. Die Differenz axialer Abstände 76 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 erzeugt eine entsprechende Differenz der Verbrennungsinstabilität oder der Resonanzfrequenzen unter den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffzufuhröffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 für eine oder mehrere der Brennstoffdüsen 34 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

[0044] Fig. 9 veranschaulicht eine seitliche Schnittansicht des Kopfendes 48 der in Fig. 5 gezeigten Brennkammeranordnung 14 längs der Schnittlinie B-B gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt, erstreckt sich die Kappenanordnung 50 radial über wenigstens einen Abschnitt der Brennkammeranordnung 14 und weist eine stromaufwärts gelegene Fläche 82 auf, die axial von einer stromabwärts gelegenen Fläche 84 getrennt ist. Die stromaufwärtigen und stromabwärtigen Flächen 82, 84 können im Wesentlichen eben oder geradlinig und gegenüber dem allgemeinen Strom des Arbeitsfluids 22 durch die Kappenanordnung 50 senkrecht ausgerichtet sein. Auch in dem in Fig. 9 gezeigten speziellen Ausführungsbeispiel ist die Brennstoffdüse 34 im Wesentlichen mit der axialen Mittellinie 64 der Kappenanordnung 50 fluchtend ausgerichtet und erstreckt sich durch die Kappenanordnung 50, um eine strömungsmässige Verbindung durch die Kappenanordnung 50 zu der Brennkammer 38 bereitzustellen. Die Brennstoffdüse 34 kann eine dem Fachmann bekannte beliebige geeignete Konstruktion enthalten, die dazu dient, Brennstoff mit dem Arbeitsfluid 22 vor dem Eintritt in die Brennkammer 38 zu mischen, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Struktur oder Konstruktion beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt. Beispielsweise kann die Brennstoffdüse 34, wie in Fig. 9 gezeigt, den zentralen Grundkörper 66, den Mantel 68, den Ringkanal 70, die Schaufeln 72 und die Brennstoffzufuhröffnungen 74 aufweisen, wie es zuvor mit Bezug auf das in Fig. 6 gezeigte Ausführungsbeispiels beschrieben ist.

[0045] Wie in Fig. 5 und 9 gezeigt, können die Rohre 36 in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 kreisförmig um die Brennstoffdüse 34 angeordnet sein, und sie können sich von der stromaufwärts gelegenen Fläche 82 durch die stromabwärts gelegene Fläche 84 der Kappenanordnung 50 erstrecken. Jedes Rohr 36 weist allgemein in der Nähe der stromaufwärts gelegenen Fläche 82 einen Einlass 86 und in der Nähe der stromabwärts gelegenen Fläche 84 einen Auslass 88 auf, um eine strömungsmässige Verbindung durch die Kappenanordnung 50 und in die stromabwärts der Rohre 36 angeordnete Brennkammer 38 bereitzustellen.

[0046] Wie in Fig. 9 gezeigt, können die stromaufwärtige und die stromabwärtige Fläche 82, 84 zumindest teilweise einen Brennstoffsammelraum 90 innerhalb der Kappenanordnung 50 bilden. Ein Brennstoffkanal 92 kann sich von dem Gehäuse 32 und/oder der Endabdeckung 46 durch die stromaufwärts gelegene Fläche 82 erstrecken, um eine strömungsmässige Verbindung für Brennstoff bereitzustellen, der in den Brennstoffsammelraum 90 strömt. Ein oder mehrere Rohre 36 können einen Brennstoffinjektor 94 enthalten, der sich durch die Rohre 36 erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung von dem Brennstoffsammelraum 90 in die Rohre 36 bereitzustellen. Die Brennstoffinjektoren 94 können abgewinkelt radial, axial und/oder azimuthal gestaltet sein, um den durch die Brennstoffinjektoren 94 und in die Rohre 36 strömenden Brennstoff voranzutreiben und/oder zu verwirbeln. Das Arbeitsfluid 22 kann somit in die Rohreinlässe 86 strömen, und Brennstoff aus dem Brennstoffkanal 92 kann um die in dem Brennstoffsammelraum 90 angeordneten Rohre 36 strömen, um die Rohre 36 konvektiv zu kühlen, bevor er durch die Brennstoffinjektoren 94 und in die Rohre 36 strömt, um sich mit dem Arbeitsfluid 22 zu vermischen. Das Gemisch aus Brennstoff und Arbeitsfluid kann anschliessend durch die Rohre 36 und in die Brennkammer 38 strömen.

[0047] Wie zuvor mit Bezug auf das in Fig. 6 gezeigte Ausführungsbeispiel beschrieben, kann der in der Brennkammer 38 erfolgende Verbrennungsprozess, wenn die Rohre 36 in der Brennkammer 14, z.B. in der in Fig. 2 gezeigten exemplarischen Brennkammeranordnung 14, eingebaut sind, Wärmefreisetzungsschwankungen hervorbringen, die ihrerseits mit einer oder mehreren Schallschwingungsmoden der Brennkammeranordnung 14 gekoppelt sind, so dass Verbrennungsinstabilitäten hervorgerufen werden. Ein spezieller Mechanismus, durch den Verbrennungsinstabilitäten erzeugt werden können, tritt auf, wenn die durch die Wärmefreisetzungsschwankungen angeregten akustischen Pulsationen sich stromaufwärts zu den Brennstoffinjektoren 94 bewegen, wo sie den durch die Brennstoffinjektoren 94 strömenden Brennstoffzstrom beeinträchtigen und Schwankungen der Konzentration in dem stromabwärts in Richtung der Verbrennungsflamme strömenden Brennstoff-Luft-Gemisch erzeugen können. Diese Schwankung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bewegt sich anschliessend stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungsschwankung hervorrufen kann. Unter der Voraussetzung, dass die sich ergebende Wärmefreisetzungsschwankung in etwa phasengleich mit den Druckschwankungen ist, wird sie Wärmefreisetzungsschwankungen zusätzlich fördern, so dass eine ununterbrochene Rückkopplungsschleife geschlossen ist. Falls die sich ergebende Wärmefreisetzungsschwankung und die Druckschwankungen hingegen ausserphasig sind, wird eine destruktive Interferenz die Grösse der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz, die den Rohren 36, den Rohrbündeln 62 und/oder der Kappenanordnung 50 zugeordnet ist, verringern. Die Verbrennungsinstabi-

litätsfrequenzen, die den Rohren 36 und/oder den Rohrbündeln 62 zugeordnet sind, können ihrerseits entweder konstruktiv oder destruktiv miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu vergrössern oder zu verkleinern.

**[0048]** Die sich ergebenden Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen werden eine Funktion der Zeit sein, die der akustische Druckpuls erfordert, um den Brennstoffinjektor 94 zu erreichen, und die anschliessend die sich ergebende Störung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses erfordert, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist aus dem Stand der Technik als konvektive Zeit  $\tau$  bekannt. Die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die durch die Wechselwirkung zwischen den Schwan- kungen des Brennstoff-Luft-Verhältnisses und der akustischen Druckschwankung erzeugt werden, sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 (d.h. den Rohraus- lässen 88). In speziellen Ausführungsbeispielen können diese Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in einem oder mehreren Rohren 36 und/oder Rohrbündeln 62 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Verbrennungsdynamik, die der einzelnen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu beeinflussen. In dem in Fig. 5 und 9 gezeigten speziellen Aus- führungsbeispiel können die Rohre 36 beispielsweise für jedes Rohrbündel 62 einen unterschiedlichen axialen Abstand 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 aufweisen. Dementsprechend wird sich die Verbren- nungsinstabilitätsfrequenz für jedes Rohr 62 geringfügig unterscheiden, so dass eine konstruktive Interferenz zwischen den Rohrbündeln 62 gemildert oder daran gehindert wird, die Amplitude der Verbrennungsdynamik, die der speziellen Brennkammeranordnung 14 zugeordnet ist, zu erhöhen. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffin- jektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um für jedes Rohr 36 und/oder Rohrbündel 62 eine gewünschte Ver- brennungsinstabilitätsfrequenz, und/oder für die spezielle Brennkammeranordnung 14 eine gewünschte Verbrennungsdynamik zu erreichen. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen die axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für einige oder sämtliche Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

**[0049]** Die Verbrennungsdynamiken, die mehreren Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, die in der Gasturbine 10 eingebaut sind, können ihrerseits entweder aufbauend oder abbauend miteinander in Wechselwirkung treten, um die Amplitude und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu steigern oder zu ver- mindern. In speziellen Ausführungsbeispielen können die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen und/oder Verbrennungsdynamiken, die einer oder mehreren Brennkammeranordnungen 14 zugeordnet sind, eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsdynamik einer weiteren Brennkammeranordnung 14, und auf diese Weise die Verbrennungsdynamik, die der Gasturbine 10 zugeordnet ist, zu stören. Beispielsweise zeigt Fig. 10 ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In dem in Fig. 10 dargestellten speziellen Ausführungsbeispiels sind mehrere Brennkammern 14, wie in Fig. 5 und 9 gezeigt, um eine Achse 100 angeordnet. Die Achse 100 kann beispielsweise mit dem Rotor 18 in der Gasturbine 10 übereinstim- men, der den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbündet, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 100 oder die spezielle Gruppierung der Brennkammeranordnungen 14 um die Achse 100 beschränkt.

**[0050]** Wie in Fig. 10 dargestellt, enthält jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Rohre 36, die in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sind, die die Brennstoffdüse 34 um den Umfang umgeben, und die Brennkammer 38 befindet sich, wie zuvor gemäss Fig. 2, 5 und 9 beschrieben, bezüglich der Rohre 36, Rohrbündel 62 und Brennstoffdüse 34 strom- abwärts. Weiter weist das System ausserdem Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsin- stabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Die Konstruktion für das Mittel kann eine Differenz unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 zwischen einem oder mehreren der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 beinhalten. In dem in Fig. 10 dargestellten speziellen Ausführungsbeispiel unterscheidet sich unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 beispielsweise der axiale Abstand 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für jedes Rohrbündel 62. Im Ergebnis erzeugt das Mittel unterschiedliche Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einer Brennkammeranordnung 14 hervorzubringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 un- terscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen ein oder mehrere axiale Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für ein oder mehrere Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder ver- schieden sein, solange die axialen Abstände 96 zwischen beiden Brennkammeranordnungen 14 nicht sämtliche gleich sind, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

**[0051]** Fig. 11 veranschaulicht ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäss einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 11 gezeigt, weist auch hier jede Brennkammeranordnung 14 mehrere Rohre 36 auf, die in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sind, die die Brennstoffdüse 34 um den Umfang

umgeben, und die Brennkammer 38 befindet sich stromabwärts der Rohre 36, Rohrbündel 62 und Brennstoffdüse 34, wie zuvor gemäss Fig. 2, 5, 9 und 10 beschrieben. Darüber hinaus können die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 in jeder Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein. In dem in Fig. 11 dargestellten speziellen Ausführungsbeispiel sind die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 beispielsweise für jedes Rohrbündel 62 innerhalb derselben Brennkammeranordnung 14 verschieden, während sich die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 für jedes Rohrbündel 62 in beiden Brennkammeranordnungen 14 hingegen wiederholen.

**[0052]** Das in Fig. 11 dargestellte Ausführungsbeispiel weist auch hier Mittel auf, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilität oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Wie im Falle des vorangehenden und in Fig. 8 veranschaulichten Ausführungsbeispiels beschrieben, kann die Konstruktion für die Mittel eine Differenz der axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einer Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in der anderen Brennkammeranordnung 14 beinhalten. Dadurch dass sich die axialen Positionen der Brennstoffinjektoren 94 in beiden Brennkammeranordnungen 14 wiederholen, erzeugt die Differenz der axialen Längen 80 zwischen den beiden Brennkammeranordnungen 14 unter den beiden Brennkammeranordnungen 14 eine entsprechende Differenz der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38. Die Differenz der axialen Abstände 96 zwischen den beiden Brennkammeranordnungen 14 erzeugt eine entsprechende Differenz der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen unter den beiden Brennkammeranordnungen 14. Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass mehrere Kombinationen von Änderungen der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz hervorzu bringen, die sich von der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 für ein oder mehrere Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in einer speziellen Brennkammeranordnung 14 im Vergleich zu der anderen Brennkammeranordnung 14 übereinstimmen oder verschieden sein, und die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine spezielle Kombination axialer Abstände 96 beschränkt, es sei denn, dies ist in den Ansprüchen speziell erwähnt.

**[0053]** Fig. 12 zeigt eine exemplarische grafische Darstellung von Brennkammeranordnungsdynamiken gemäss unterschiedlichen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Die horizontale Achse repräsentiert einen Bereich von Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen, und die vertikale Achse repräsentiert einen Bereich von Amplituden. Das in Fig. 12 dargestellte System kann drei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 enthalten, die in der Gasturbine 10 oder in einem sonstigen Turbotriebwerk eingebaut sind. Durch den Einsatz der Mittel, die dazu dienen, in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet, kann jede Brennkammeranordnung 14 eingestellt oder abgestimmt sein, um eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Verbrennungsdynamik zu erreichen. Wie in Fig. 12 gezeigt, kann beispielsweise eine erste Gruppe der Brennkammeranordnungen 14 eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine erste Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102 zu erreichen, eine zweite Gruppe der Brennkammeranordnungen 14 kann eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine zweite Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 104 zu erreichen, und eine dritte Gruppe der Brennkammeranordnungen 14 kann eingestellt und/oder abgestimmt sein, um eine dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 106 zu erreichen. Die erste, zweite und dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102, 104, 106 unterscheiden sich geringfügig voneinander und sind daher geringfügig gegeneinander phasenverschoben. Folglich sind die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen 102, 104, 106, die den Brennkammern 14 zugeordnet sind, nicht in der Lage, kohärent oder konstruktiv miteinander in Wechselwirkung zu treten, was eine Steigerung der Verbrennungsdynamik dämpft oder verhindert, und/oder die Fähigkeit des Brennkambersystems reduziert, Resonanzschwingungen in dem stromabwärts angeordneten Turbinenabschnitt 16 anzuregen.

**[0054]** Einem Fachmann wird anhand der hier unterbreiteten Lehre ohne weiteres einleuchten, dass die mit Bezug auf Fig. 1–11 beschriebenen und veranschaulichten vielfältigen Konstruktionen ein oder mehrere hier nicht beanspruchte Verfahren zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik und/oder zur Reduzierung der Kohärenz der Verbrennungsdynamiken im Falle von zwei oder mehr Brennkammeranordnungen 14 schaffen können. Die Verfahren können beispielsweise den Schritt des Leitens des Arbeitsfluids 22 und des Brennstoffs durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen 34, durch Rohre 36 und/oder durch Rohrbündel 62 in die Brennkammern 38 mehrerer Brennkammeranordnungen 14 beinhalten. In speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens eines oder mehrerer axialer Abstände 76 zwischen den Brennstoffzuführöffnungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder zwischen den Schaufeln 72 und der Brennkammer 38 beinhalten, vorausgesetzt, die axialen Abstände 76 sind nicht alle zwischen sämtlichen Brennkammeranordnungen 14 gleich, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in den anderen Brennkammeranordnungen 14 unterscheidet. In weiteren speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens eines oder mehrerer axialer Abstände 96 zwischen den Brennstoffinjektoren 94 und der Brennkammer 38 beinhalten, vorausgesetzt, die axialen Abstände 96 sind nicht alle zwischen sämtlichen der Brennkammeranordnungen 14 gleich, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet. In noch weiteren speziellen Ausführungsbeispielen kann das Verfahren den Schritt des Variierens einer oder mehrerer axialer Längen 80 der Kappenanordnung 50 beinhalten, vorausgesetzt,

die axialen Längen 80 stimmen nicht sämtliche zwischen allen Brennkammeranordnungen 14 überein, so dass in einer Brennkammeranordnung 14 eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz hervorgebracht wird, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der anderen Brennkammeranordnung 14 unterscheidet.

**[0055]** Die mit Bezug auf Fig. 1–12 beschriebenen und veranschaulichten unterschiedlichen Ausführungsbeispiele können einen oder mehrere der folgenden Vorteile gegenüber bestehenden Brennkammeranordnungen 14 bieten. Insbesondere können die unterschiedlichen axialen Abstände 76, 96 und/oder axialen Längen 80 für sich allein oder in vielfältigen Kombinationen die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen von den Verbrennungsdynamiken abkoppeln. Infolgedessen können die vielfältigen hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele den thermodynamischen Wirkungsgrad erhöhen, die Flammenstabilität fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen grossen Bereich von Betriebspegeln vermindern.

**[0056]** Die vorliegende Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung einschliesslich des besten Modus zu beschreiben, und um ausserdem jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung in der Praxis einzusetzen, beispielsweise beliebige Einrichtungen und Systeme herzustellen und zu nutzen, und beliebige damit verbundene Verfahren durchzuführen. Der patentfähige Schutzmfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert.

#### **Bezugszeichenliste**

##### **[0057]**

- 10 Gasturbine
- 12 Verdichterabschnitt
- 14 Brennkammeranordnungen
- 16 Turbinenabschnitt
- 18 Laufrad
- 20 Generator
- 22 Arbeitsfluid
- 24 stationäre Leitschaufeln
- 26 rotierende Schaufeln
- 28 Verdichtergehäuse
- 30 Verdichterauslasssammelraum
- 32 Brennkammergehäuse
- 34 Brennstoffdüsen
- 36 Rohre
- 38 Brennkammer
- 40 Übergangskanal
- 42 rotierende Schaufeln
- 44 stationäre Leitapparate
- 46 Endabdeckung
- 48 Kopfende
- 50 Kappenanordnung
- 52 Brennkammerwand
- 54 Strömungslöcher
- 56 Prallhülse
- 58 kreisförmige Rohrbündel
- 60 zentrales Rohrbündel

62 tortenstückförmige Rohrbündel  
64 axiale Mittellinie  
66 zentraler Grundkörper  
68 Mantel  
70 Ringkanal  
72 Leitschaufeln  
74 Brennstoffzuführöffnungen  
76 axiale Abstände  
78 Achse  
80 axiale Länge der Kappenanordnung  
82 stromaufwärts gelegene Fläche  
84 stromabwärts gelegene Fläche  
86 Rohreinlass  
88 Rohrauslass  
90 Brennstoffsammelraum  
92 Brennstoffkanal  
94 Brennstoffinjektor  
96 axialer Abstand  
98  
100 Achse  
102 erste Resonanzfrequenz  
104 zweite Resonanzfrequenz  
106 dritte Resonanzfrequenz

**Patentansprüche**

1. Brennkammersystem mit reduzierter Verbrennungsdynamik, wobei zu dem System gehörten:
  - a) eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse (78) angeordnet sind, wobei jede Brennkammeranordnung (14) jeweils eine Kappenanordnung (50), die sich radial über wenigstens einen Abschnitt der jeweiligen Brennkammeranordnung (14) erstreckt, und eine Brennkammer (38) aufweist, die stromabwärts der jeweiligen Kappenanordnung (50) angeordnet ist;
  - b) wobei jede Kappenanordnung (50) mehrere Rohre (36) enthält, die sich axial durch die jeweilige Kappenanordnung (50) erstrecken, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung (50) zu der jeweiligen Brennkammer (38) und zu einem jeweiligen Brennstoffinjektor (94) bereitzustellen, der sich durch jeweils eines jeder Rohre (36) erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung in das jeweilige Rohr (36) hinein bereitzustellen; und
  - c) wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, und wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.
2. System nach Anspruch 1, wobei die mehreren Rohre (36) in jeder der Kappenanordnungen (50) jeweils in mehreren Rohrbündeln (58) gruppiert sind, die über den radialen Querschnitt der jeweiligen Kappenanordnung (50) hinweg angeordnet sind, wobei der jeweilige Brennstoffinjektor (94) durch jedes Rohr (36) jeweils in einem vierten axialen Abstand (96) von der Brennkammer (38) angeordnet ist, und wobei sich der jeweilige vierte axiale Abstand für mindestens zwei Rohrbündel (58) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet, und/oder wobei jede Kappenanordnung (50) zusätzlich jeweils eine Brennstoffdüse (34) aufweist, die sich axial durch die jeweilige Kappenanordnung (50) erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung (50) zu der

jeweiligen Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse (34) gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper (66), ein Mantel (68), der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers (66) umgibt, mehrere Leitschaufeln (72), die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper (66) und dem Mantel (68) erstrecken, eine erste Brennstoffzuführöffnung (74) durch mindestens eine der mehreren Leitschaufeln (72) in einem ersten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38), eine zweite Brennstoffzuführöffnung (74) durch den zentralen Grundkörper (66) in einem zweiten axialen Abstand von der Brennkammer (38), und wobei die mehreren Leitschaufeln (72) in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer (38) angeordnet sind.

3. System nach Anspruch 2, wobei sich wenigstens einer der axialen Abstände (76) unterscheidet, sei dies der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14), der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14), oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14).
4. System nach Anspruch 2, wobei sich wenigstens zwei der axialen Abstände unterscheiden, sei dies der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14), der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14), oder der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14).
5. System nach Anspruch 2, wobei der erste axiale Abstand (76) in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem ersten axialen Abstand (76) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet, der zweite axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem zweiten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet, und der dritte axiale Abstand in der ersten Brennkammeranordnung (14) sich von dem dritten axialen Abstand in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.
6. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung (14) mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist, und wobei mindestens einer der axialen Abstände, sei dies der erste (76), der zweite, oder der dritte axiale Abstand, für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterschiedlich ist.
7. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung (14) mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist, und sich mindestens zwei der axialen Abstände, seien dies die ersten (76), die zweiten, oder die dritten axialen Abstände, für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterscheiden.
8. System nach Anspruch 2, wobei jede Brennkammeranordnung (14) mehrere Brennstoffdüsen (34) aufweist, und wobei die ersten (76), die zweiten, und die dritten axialen Abstände sich für mindestens zwei Brennstoffdüsen (34) in der ersten Brennkammeranordnung (14) unterscheiden.
9. Brennkammersystem mit reduzierter Verbrennungsdynamik, wobei zu dem System gehören:
  - a) eine erste und eine zweite Brennkammeranordnung (14), die um eine Achse (78) gruppiert sind, wobei jede Brennkammeranordnung (14) jeweils eine Kappenanordnung (50), die sich radial über wenigstens einen Abschnitt der jeweiligen Brennkammeranordnung (14) erstreckt, und eine Brennkammer (38) aufweist, die stromabwärts der jeweiligen Kappenanordnung (50) angeordnet ist;
  - b) wobei jede Kappenanordnung (50) eine Brennstoffdüse (34) aufweist, die sich axial durch die jeweilige Kappenanordnung (50) erstreckt, um eine strömungsmässige Verbindung durch die jeweilige Kappenanordnung (50) zu jeweiligen der Brennkammer (38) bereitzustellen, wobei zu jeder Brennstoffdüse (34) gehören: ein sich axial erstreckender zentraler Grundkörper (66), ein Mantel (68), der wenigstens einen Abschnitt des sich axial erstreckenden zentralen Grundkörpers (66) umgibt, mehrere Leitschaufeln (72), die sich radial zwischen dem zentralen Grundkörper (66) und dem Mantel (68) erstrecken, eine erste Brennstoffzuführöffnung (74) durch mindestens eine der mehreren Leitschaufeln (72) in einem ersten axialen /Abstand (76) von der Brennkammer (38), eine zweite Brennstoffzuführöffnung (74) durch den zentralen Grundkörper (66) in einem zweiten axialen Abstand von der Brennkammer (38), und wobei die mehreren Leitschaufeln (72) in einem dritten axialen Abstand von der Brennkammer (38) angeordnet sind; und
  - c) Mittel, um in der ersten Brennkammeranordnung (14) eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.
10. System nach Anspruch 9, wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, und wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der ersten Brennkammeranordnung (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in der zweiten Brennkammeranordnung (14) unterscheidet.

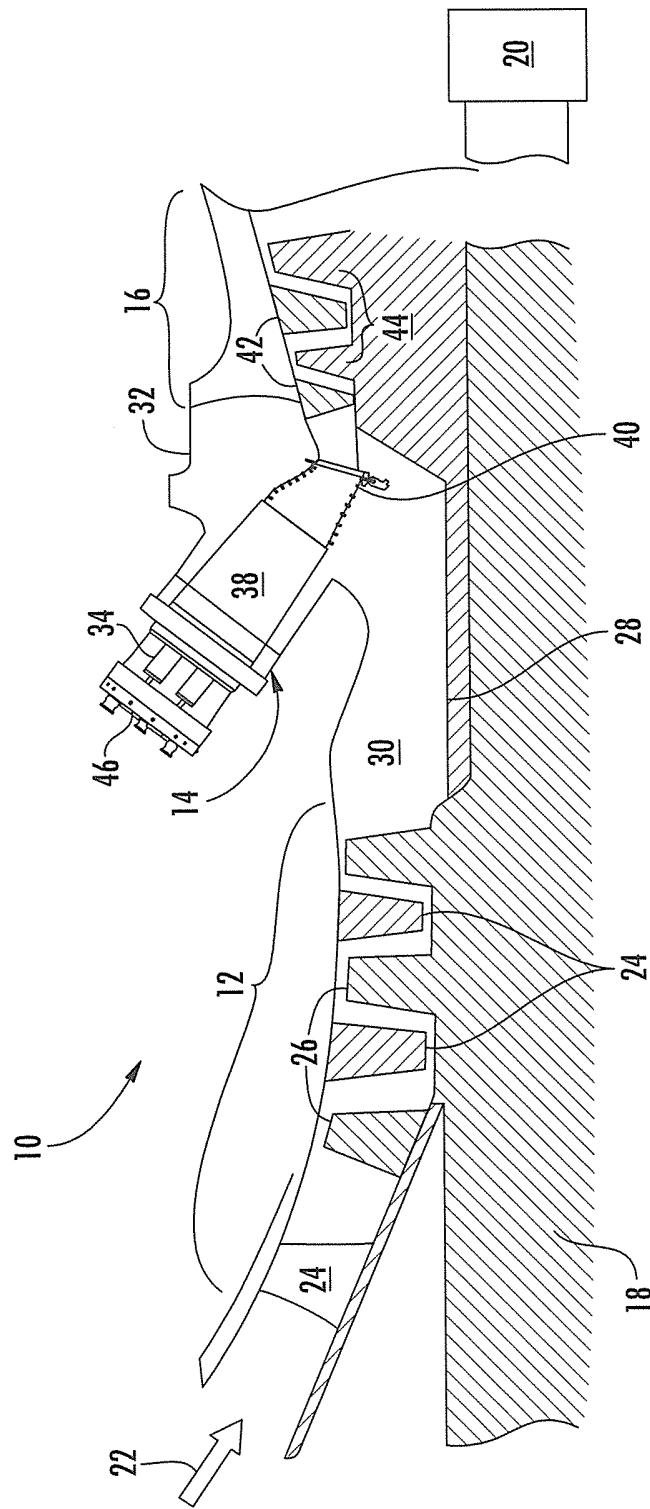


FIG. 1

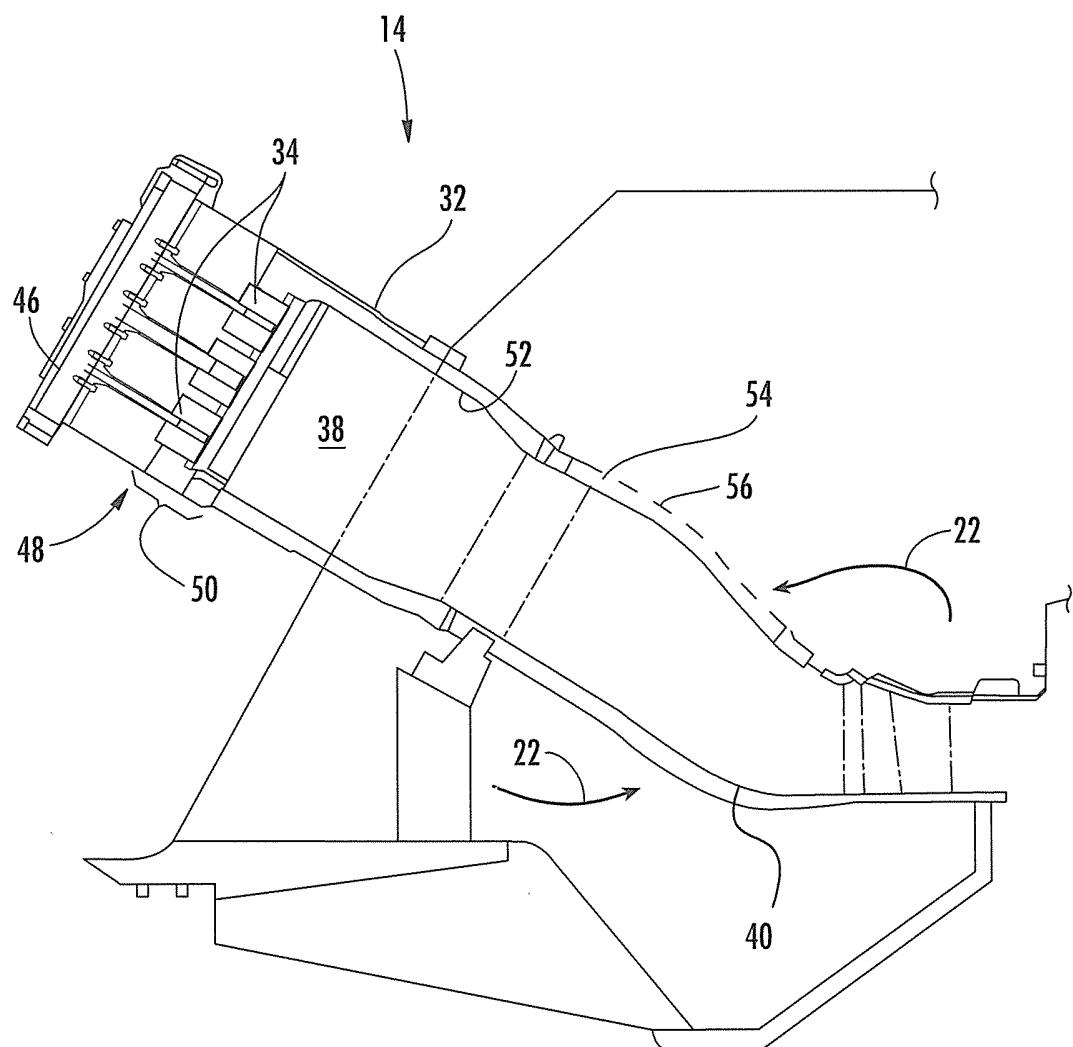


FIG. 2

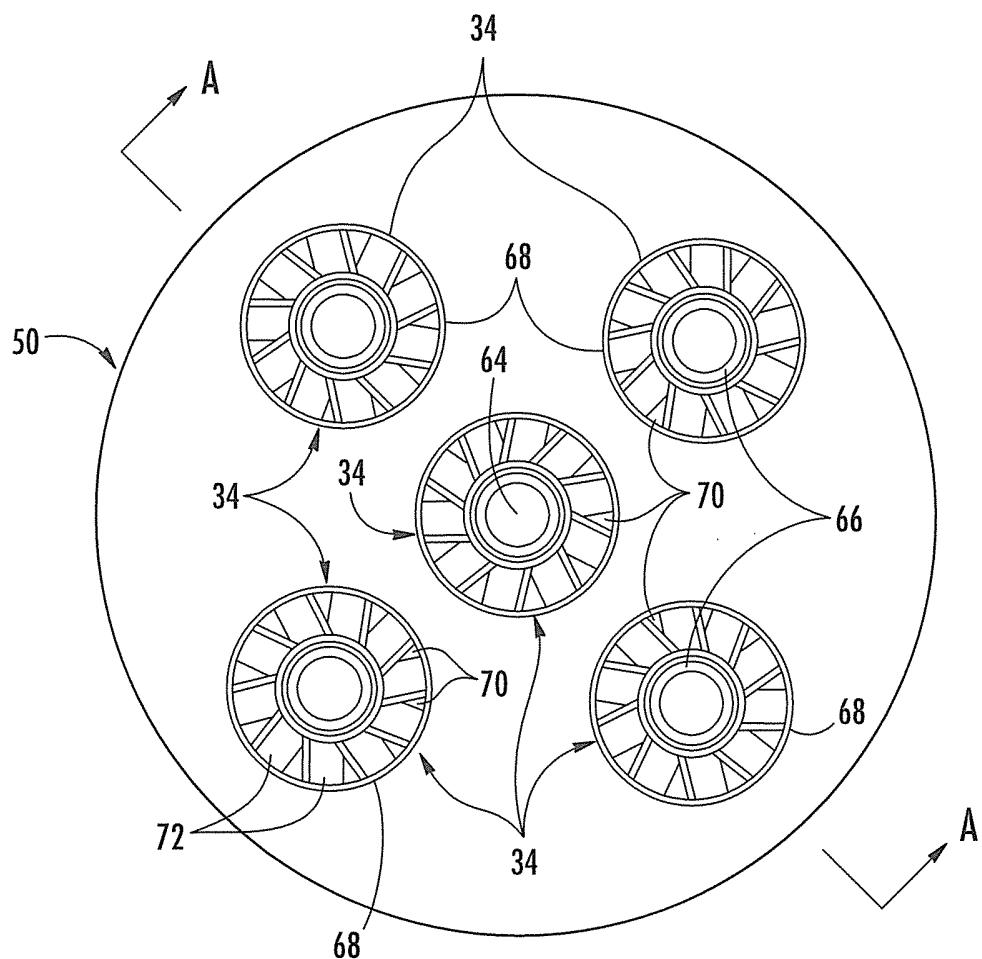


FIG. 3

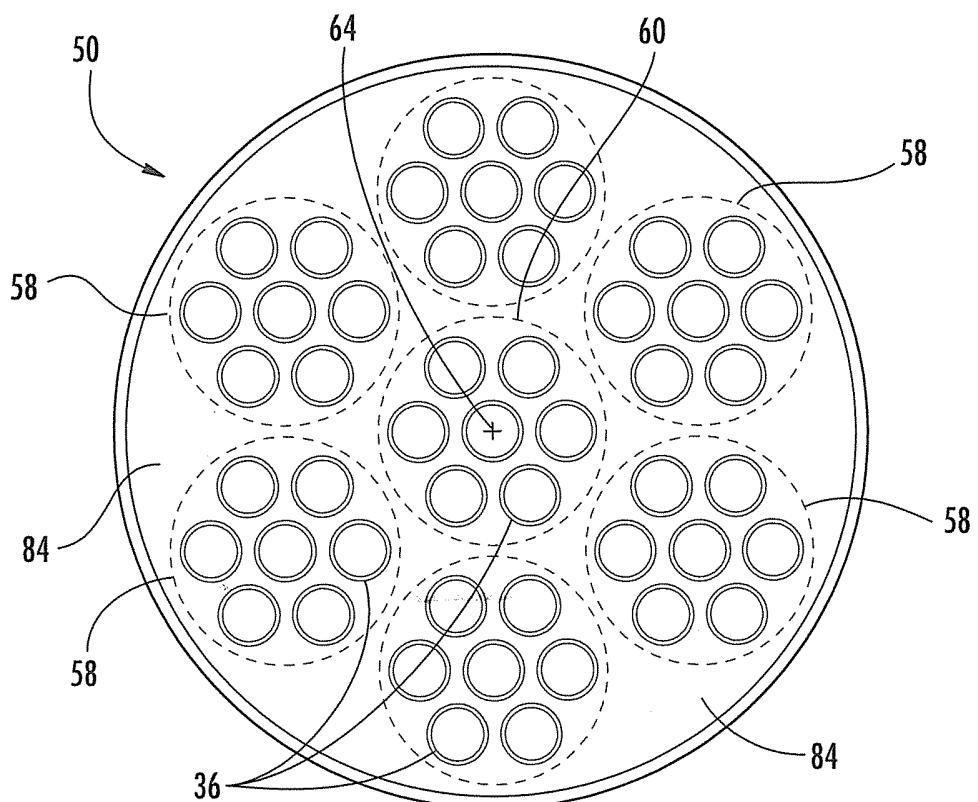


FIG. 4

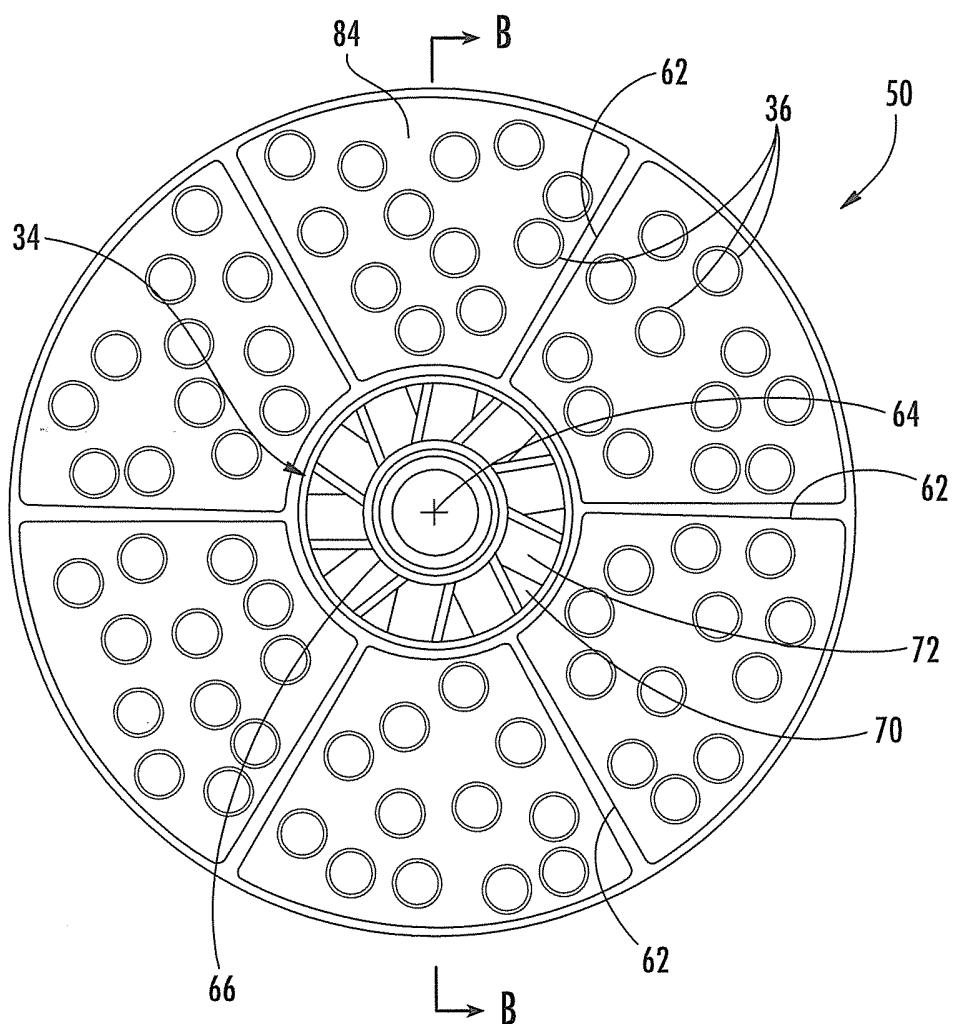


FIG. 5

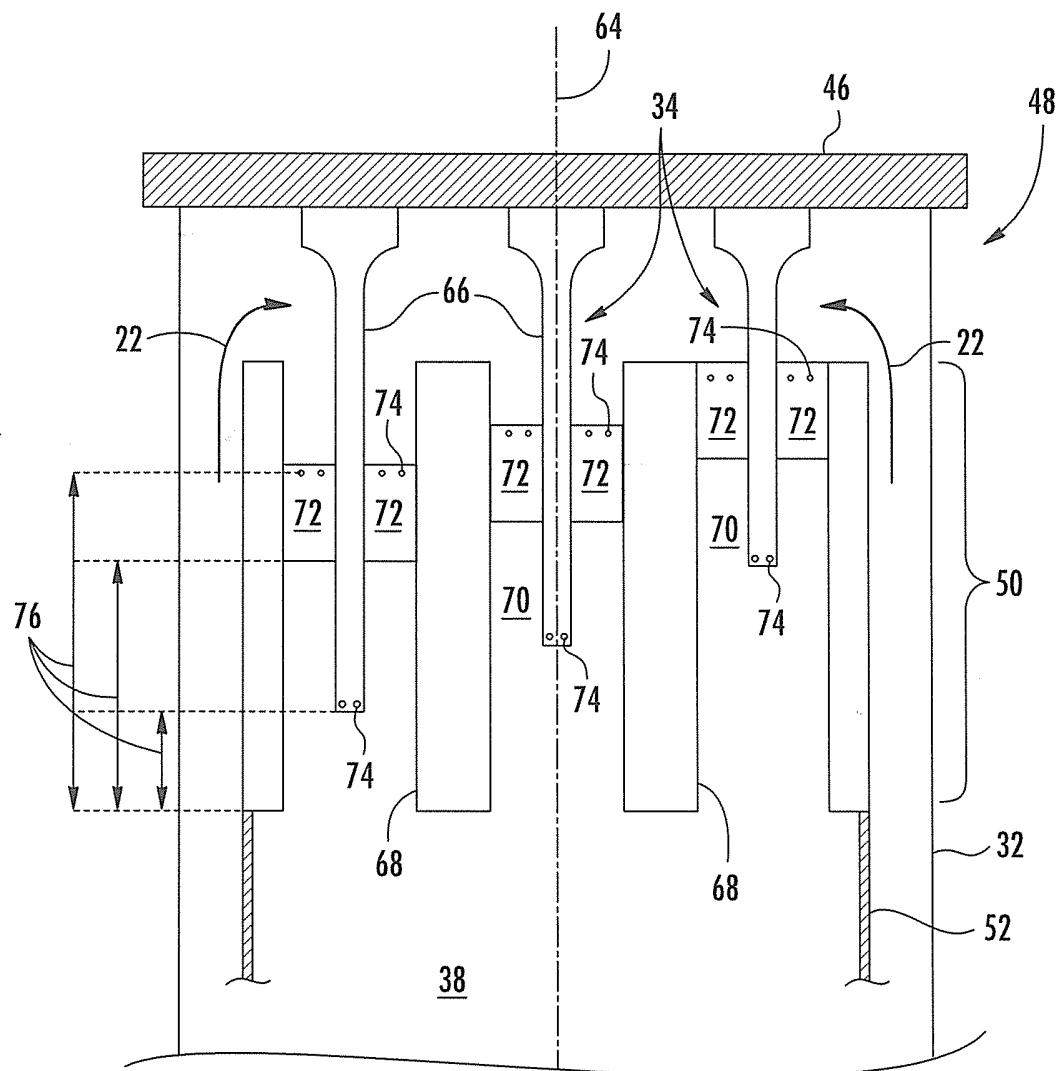


FIG. 6

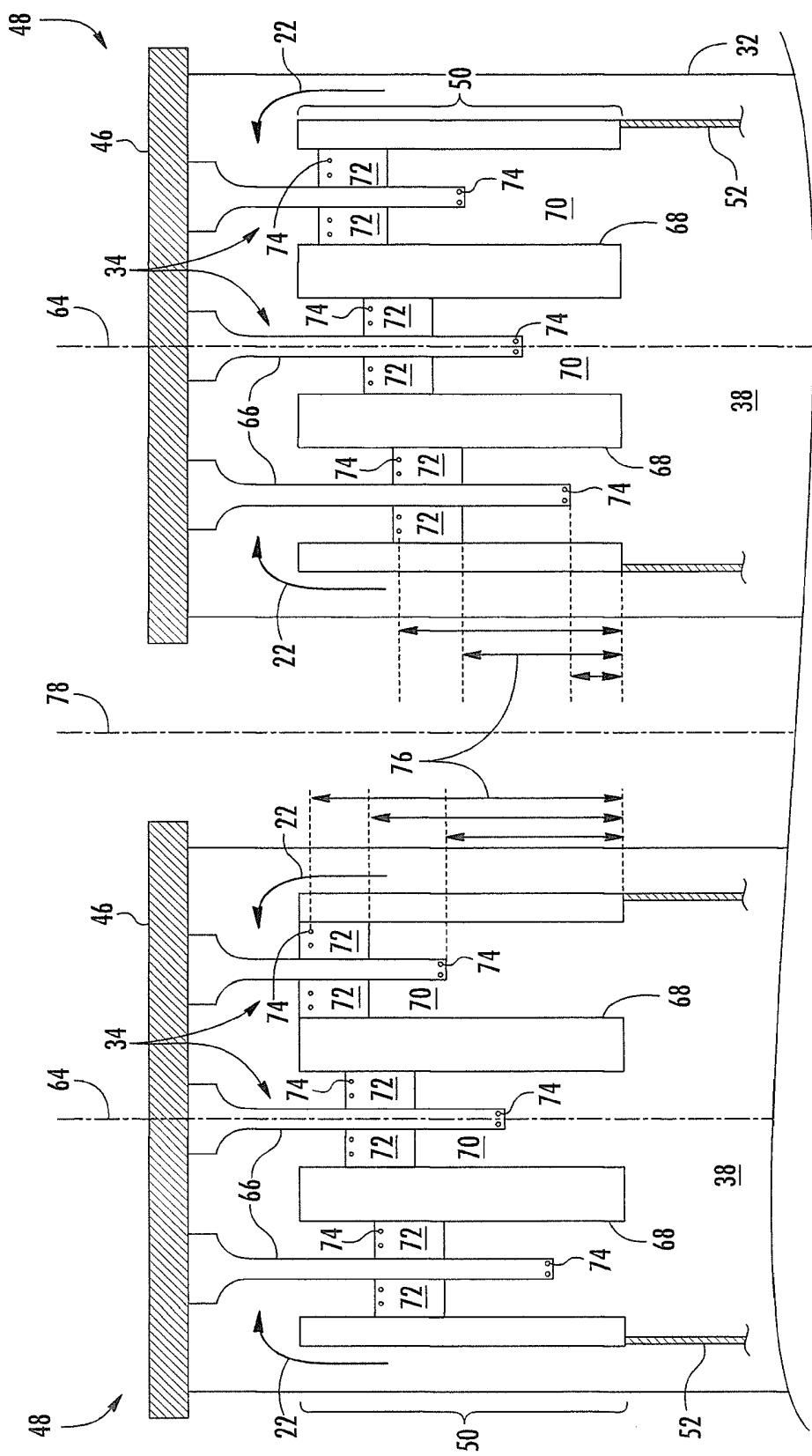


FIG. 7

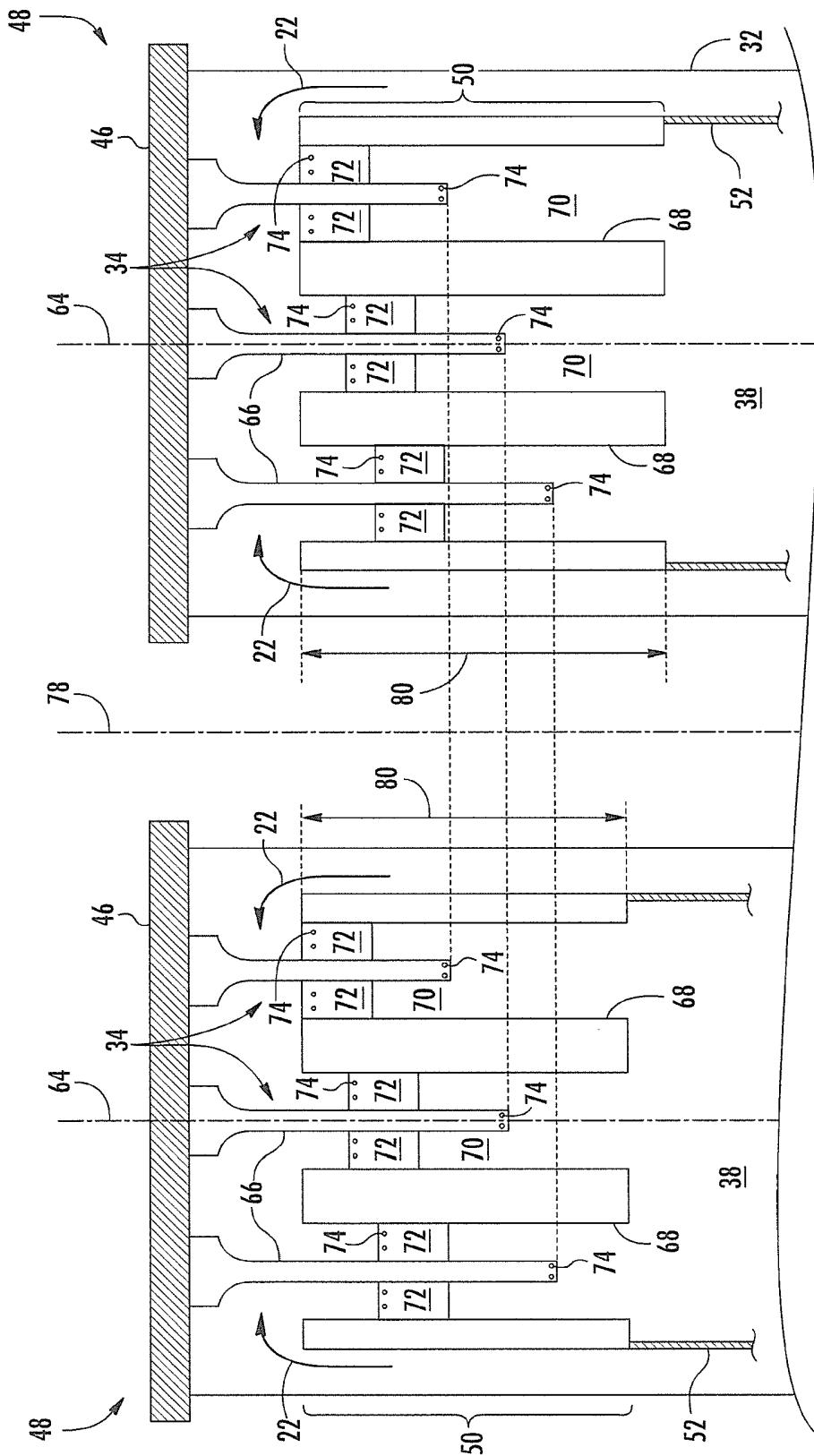


FIG. 8

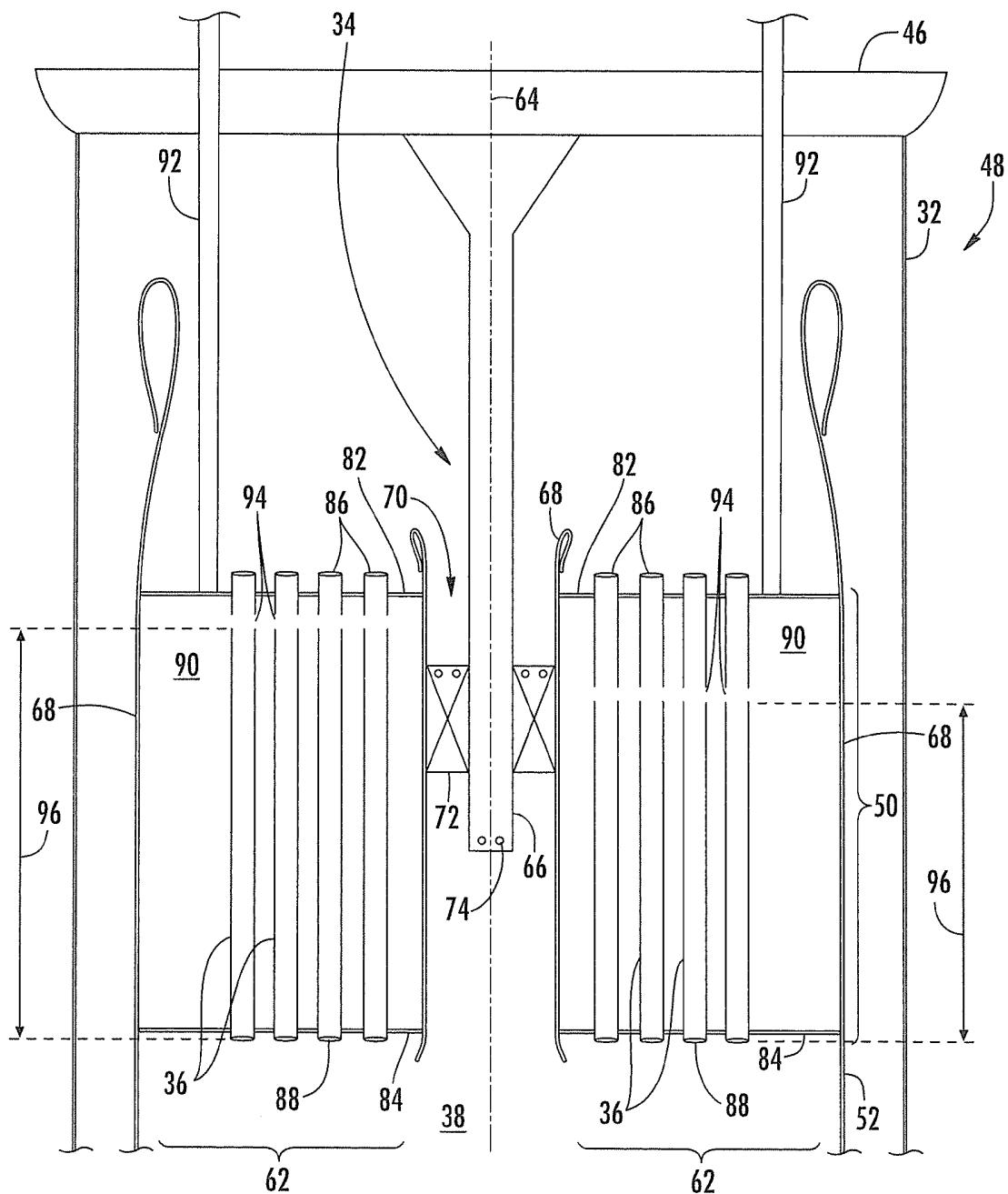
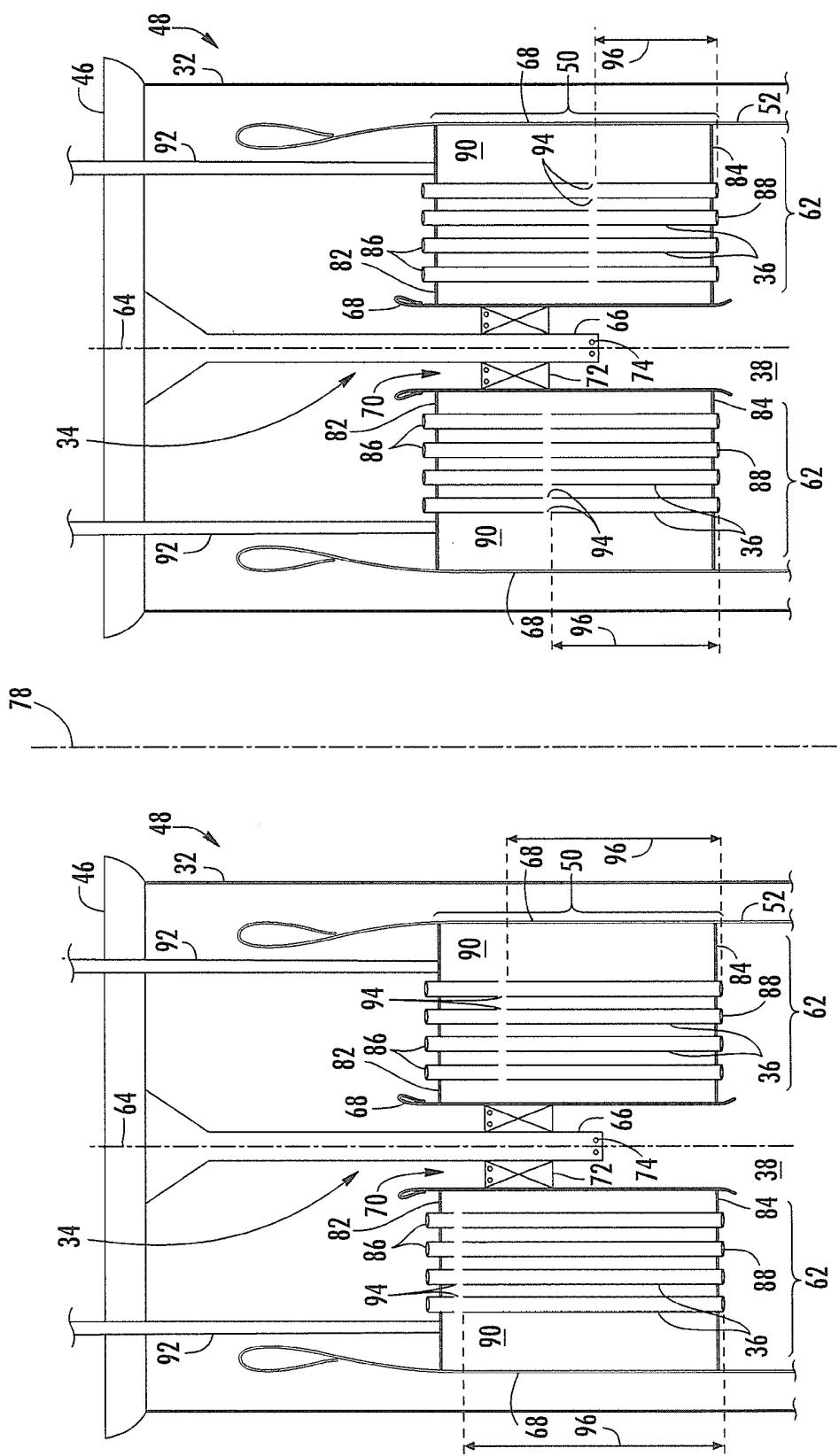


FIG. 9



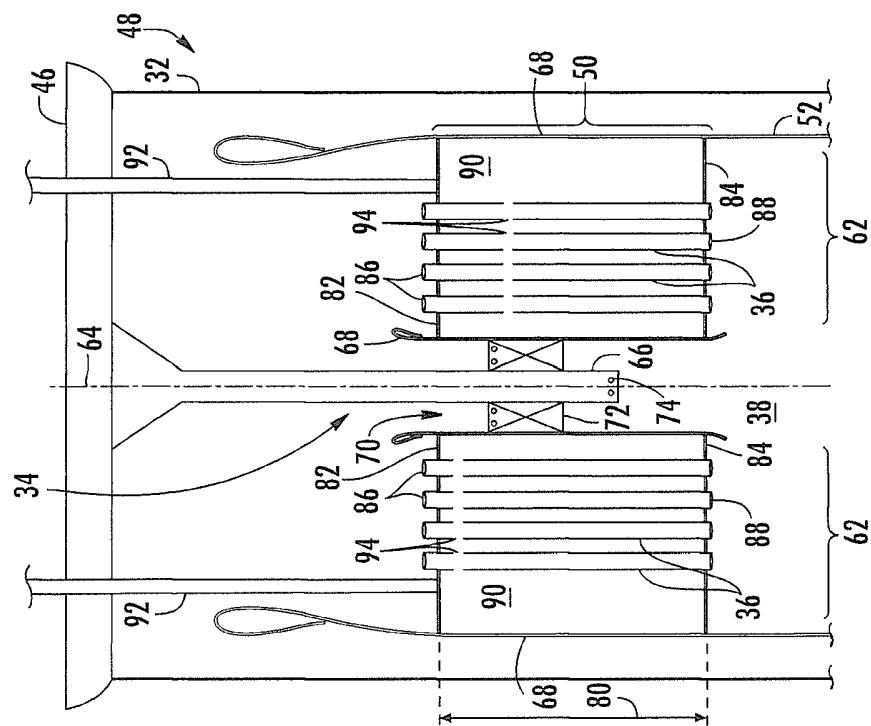
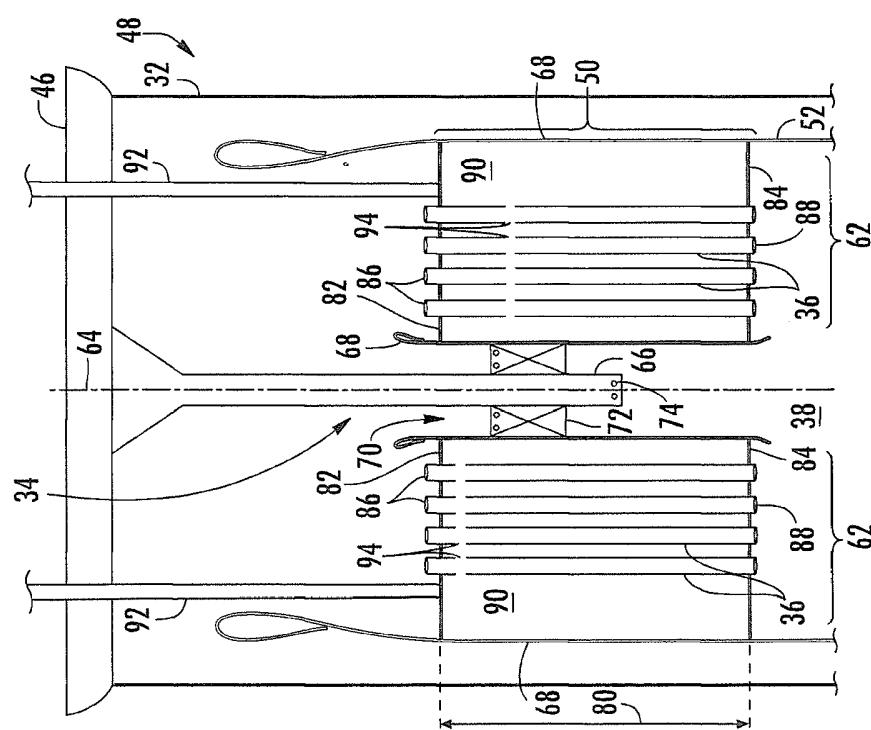


FIG. 11



CH 706 861 B1

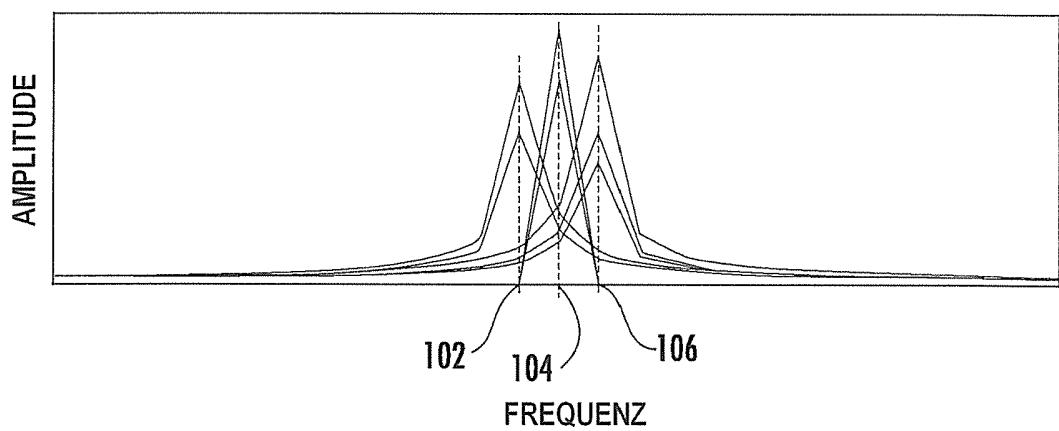


FIG. 12