



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2016 106 984.1

(51) Int Cl.: **F23R 3/28 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: 15.04.2016

**F23R 3/34 (2006.01)**

(43) Offenlegungstag: 20.10.2016

(30) Unionspriorität:

14/687,866

15.04.2015 US

(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel, 73728 Esslingen, DE

(71) Anmelder:

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,  
N.Y., US

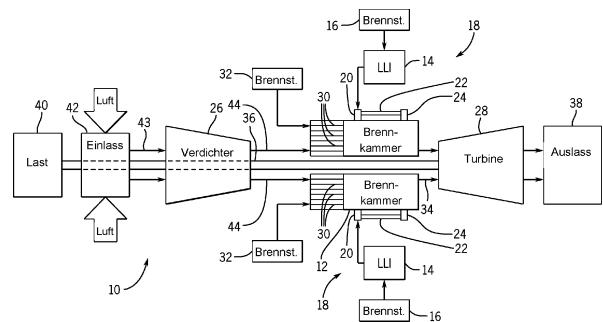
(72) Erfinder:

Crothers, Sarah Lori, Greenville, S.C., US; Karim,  
Hasan, Greenville, S.C., US; Hall, Joel Meador,  
Greenville, S.C., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Systeme und Verfahren zur Steuerung der Verbrennungsdynamik in einem Verbrennungssystem**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Offenbarung betrifft allgemein ein System mit einer Gasturbine. Die Gasturbine enthält eine erste Brennkammer, die einen ersten Brennstoffinjektor aufweist, und eine zweite Brennkammer, die einen zweiten Brennstoffinjektor aufweist. Die Gasturbine enthält ferner eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt. Die erste Brennstoffleitung weist ein erstes akustisches Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass auf. Die Gasturbine enthält ferner eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt. Die zweite Brennstoffleitung weist ein zweites akustisches Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass auf, wobei das erste akustische Volumen und das zweite akustische Volumen sich voneinander unterscheiden.



**Beschreibung****HINTERGRUND**

**[0001]** Der hierin offenbare Gegenstand betrifft allgemein Gasturbinensysteme und insbesondere Systeme und Verfahren zur Reduktion der Verbrennungsdynamik und insbesondere zur Reduktion einer modalen Kopplung der Verbrennungsdynamik innerhalb einer Gasturbine.

**[0002]** Gasturbinensysteme enthalten im Allgemeinen eine Gasturbine mit einem Verdichterabschnitt, einem Brennkammerabschnitt und einem Turbinenabschnitt. Der Brennkammerabschnitt kann eine oder mehrere Brennkammern (z.B. Rohrbrennkammern) enthalten, wobei jede Brennkammer ein primäres Verbrennungssystem und ein sekundäres Verbrennungssystem (z.B. ein System für späte Magergemischeinspritzung (LLI-System)) stromabwärts von dem primären Verbrennungssystem aufweist. Ein Gemisch aus Brennstoff und/oder Luft kann in das primäre und das sekundäre Verbrennungssystem durch Brennstoffdüsen hindurch geleitet werden, und jedes Verbrennungssystem kann eingerichtet sein, um das Gemisch aus dem Brennstoff und der Luft zu verbrennen, um heiße Verbrennungsgase zu erzeugen, die eine oder mehrere Turbinenstufen in dem Turbinenabschnitt antreiben.

**[0003]** Die Erzeugung der heißen Verbrennungsgase kann vielfältige Verbrennungsdynamik hervorrufen, die auftritt, wenn die akustischen Schwingungen der Brennkammer mit der Flammendynamik (auch als Schwingungskomponente der Wärmefreisetzung bezeichnet) in Wechselwirkung treten, um zu einer selbsterhaltenden Druckschwingung in der Brennkammer zu führen. Die Verbrennungsdynamik kann bei vielen einzelnen Frequenzen oder über einen Bereich von Frequenzen hinweg auftreten und kann sich in Bezug auf die jeweilige Brennkammer sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts ausbreiten. Z.B. können sich die Druckwellen stromabwärts in den Turbinenabschnitt, z.B. durch eine oder mehrere Turbinenstufen, oder stromaufwärts in das Brennstoffsystem ausbreiten. Bestimmte Bauteile des Turbinensystems können möglicherweise auf die Verbrennungsdynamik ansprechen, insbesondere wenn die von den einzelnen Brennkammern erzeugten Verbrennungsdynamiken eine phasengleiche und kohärente Beziehung zueinander aufweisen und Frequenzen bei oder nahe an den Eigen- oder Resonanzfrequenzen der Bauteile haben. In dem Kontext der Verbrennungsdynamik bezeichnet „Kohärenz“ die Stärke der linearen Beziehung zwischen zwei dynamischen Signalen, und sie ist stark von dem Grad der Frequenzüberlappung zwischen ihnen beeinflusst. Im Zusammenhang mit der Verbrennungsdynamik ist „Kohärenz“ ein Maß der modalen Kopplung oder der

akustischen Brennkammer-Brennkammer-Wechselwirkung, die das Verbrennungssystem aufweist.

**[0004]** Dementsprechend besteht ein Bedarf nach einer Steuerung der Verbrennungsdynamik und/oder der modalen Kopplung der Verbrennungsdynamik, um die Möglichkeit einer unerwünschten Mitschwingungsreaktion (z.B. eines Resonanzverhaltens) von Bauteilen in dem Turbinensystem zu reduzieren.

**KURZDARSTELLUNG**

**[0005]** Bestimmte Ausführungsformen, deren Umfang dem der ursprünglich beanspruchten Erfindung entspricht, sind nachstehend zusammengefasst. Diese Ausführungsformen sind nicht dazu vorgesehen, den Schutzmfang der beanspruchten Erfindung zu beschränken, sondern sind vielmehr dazu vorgesehen, lediglich eine Kurzdarstellung möglicher Formen der Erfindung bereitzustellen. Tatsächlich kann die Erfindung vielfältige Formen umfassen, die den nachstehend dargelegten Ausführungsformen ähnlich sein oder sich von ihnen unterscheiden können.

**[0006]** In einem ersten Aspekt enthält ein System eine Gasturbine. Die Gasturbine enthält eine erste Brennkammer mit einem ersten Brennstoffinjektor und eine zweite Brennkammer mit einem zweiten Brennstoffinjektor. Die Gasturbine enthält ferner eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt. Die erste Brennstoffleitung weist ein erstes akustisches Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass auf. Die Gasturbine enthält ferner eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt. Die zweite Brennstoffleitung weist ein zweites akustisches Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass auf, wobei das erste akustische Volumen und das zweite akustische Volumen sich voneinander unterscheiden.

**[0007]** In dem zuvor erwähnten System kann die erste Brennkammer eine erste Brennstoffdüse stromaufwärts von dem ersten Brennstoffinjektor aufweisen, und die zweite Brennkammer kann eine zweite Brennstoffdüse stromaufwärts von dem zweiten Brennstoffinjektor aufweisen.

**[0008]** In jedem beliebigen vorstehend erwähnten System kann ein oder können mehrere geometrische Unterschiede zwischen einer ersten Geometrie der ersten Öffnung und einer zweiten Geometrie der zweiten Öffnung eine Länge, eine Weite, eine Höhe der ersten Öffnung oder der zweiten Öffnung aufweisen.

**[0009]** In einigen Ausführungsformen kann die erste Öffnung eine erste Öffnung aufweisen, und die zweite Öffnung kann eine zweite Öffnung aufweisen, wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Öffnung und der zweiten Öffnung eine Kohärenz zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer reduzieren können oder die Phase zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer verändern können.

**[0010]** In den zuletzt erwähnten Ausführungsformen kann der eine oder können die mehreren geometrischen Unterschiede zwischen der ersten Öffnung und der zweiten Öffnung eine Gestalt, eine Dicke, eine Dimension, eine Lochgestalt, eine Lochgröße, eine Lochanzahl oder eine Anordnung mehrerer Löcher aufweisen.

**[0011]** In einigen Ausführungsformen kann die erste Brennstoffleitung eine erste Leitungsgeometrie aufweisen, und die zweite Brennstoffleitung kann eine zweite Leitungsgeometrie aufweisen, wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Leitungsgeometrie und der zweiten Leitungsgeometrie die Phase zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer verändern und/oder die Kohärenz zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer reduzieren kann bzw. können.

**[0012]** In den zuletzt erwähnten Ausführungsformen kann der eine oder können die mehreren geometrischen Unterschiede zwischen der ersten Leitungsgeometrie und der zweiten Leitungsgeometrie eine Länge, eine Weite, einen Durchmesser, ein akustisches Volumen, eine innere Oberfläche, eine Gestalt oder eine beliebige Kombination von diesen aufweisen.

**[0013]** In einem zweiten Aspekt enthält ein System eine erste Brennkammer eines Gasturbinensystems. Die erste Brennkammer enthält einen ersten Brennstoffinjektor, der einen ersten Brennstoffauslass aufweist, und einen zweiten Brennstoffinjektor, der einen zweiten Brennstoffauslass aufweist. Die erste Brennkammer enthält ferner eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu dem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt. Die erste Brennstoffleitung weist eine erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass auf, und die erste Öffnung weist eine erste Öffnungsgeometrie auf. Die erste Brennkammer enthält ferner eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu dem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt. Die zweite Brennstoffleitung weist eine zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass auf, und die zweite Öffnung weist eine zweite Öffnungsgeometrie auf. Die erste Leitungs-

geometrie und die zweite Leitungsgeometrie unterscheiden sich voneinander, oder die erste Öffnungsgeometrie und die zweite Öffnungsgeometrie unterscheiden sich voneinander, oder es liegt eine Kombination hiervon vor.

**[0014]** In dem zuvor erwähnten System gemäß dem zweiten Aspekt kann ein oder können mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Öffnungsgeometrie der ersten Öffnung und der zweiten Öffnungsgeometrie der zweiten Öffnung Unterschiede hinsichtlich einer Gestalt, einer Dicke, einer Lochgestalt, einer Lochgröße, einer Lochanzahl oder einer Anordnung mehrerer Löcher aufweisen.

**[0015]** Zusätzlich oder als eine Alternative können ein oder mehrere Unterschiede zwischen der ersten Öffnungsgeometrie der ersten Öffnung und der zweiten Öffnungsgeometrie der zweiten Öffnung helfen, eine Wärmefreisetzung zwischen dem ersten Brennstoffinjektor und dem zweiten Brennstoffinjektor zu variieren.

**[0016]** In jedem beliebigen vorstehend erwähnten System gemäß dem zweiten Aspekt kann der erste Brennstoffauslass einen ersten Brennstoffauslass mit einer dritten Öffnungsgeometrie aufweisen, und der zweite Brennstoffauslass kann einen zweiten Brennstoffauslass mit einer vierten Öffnungsgeometrie aufweisen, wobei sich die dritte Öffnungsgeometrie von der vierten Öffnungsgeometrie unterscheidet.

**[0017]** In jedem beliebigen vorstehend erwähnten System gemäß dem zweiten Aspekt kann die erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass einem ersten akustischen Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass entsprechen, und die zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass kann einem zweiten akustischen Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass entsprechen, wobei sich das zweite akustische Volumen von dem ersten akustischen Volumen unterscheidet.

**[0018]** Insbesondere kann ein oder können mehrere Unterschiede zwischen dem ersten akustischen Volumen und dem zweiten akustischen Volumen helfen, Verbrennungsdynamikamplituden zwischen dem ersten Brennstoffinjektor und dem zweiten Brennstoffinjektor der ersten Brennkammer zu reduzieren.

**[0019]** In einigen Ausführungsformen eines beliebigen Systems gemäß dem zweiten Aspekt kann das System zwei oder mehrere Brennkammern aufweisen, die jeweils mit einem oder mehreren Brennstoffzufuhrsystemen ausgestattet sind, wobei jede Brennkammer ein erstes Brennstoffzufuhrsystem mit einem oder mehreren geometrischen Unterschieden im Ver-

gleich zu einem zweiten Brennstoffzufuhrsystem einer anderen Brennkammer aufweisen kann.

**[0020]** In einem dritten Aspekt enthält ein System eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass eines ersten Brennstoffinjektors einer Gasturbine erstreckt. Die erste Brennstoffleitung weist eine erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass auf, und die erste Öffnung weist eine erste Öffnungsgeometrie auf. Das System enthält ferner eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass eines zweiten Brennstoffinjektors der Gasturbine erstreckt. Die zweite Brennstoffleitung weist eine zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass auf. Die zweite Öffnung weist eine zweite Öffnungsgeometrie auf, die sich von der ersten Öffnungsgeometrie unterscheidet, oder die zweite Leitungsgeometrie unterscheidet sich von der ersten Leitungsgeometrie.

**[0021]** In einigen Ausführungsformen des zuvor erwähnten Systems gemäß dem dritten Aspekt kann sich die erste Leitungsgeometrie von der zweiten Leitungsgeometrie unterscheiden.

**[0022]** Insbesondere kann ein oder können mehrere Unterschiede zwischen der ersten Leitungsgeometrie und der zweiten Leitungsgeometrie eine Länge, eine Weite, einen Durchmesser, eine innere Oberfläche, eine Gestalt oder eine beliebige Kombination von diesen aufweisen.

**[0023]** In weiteren Ausführungsformen eines beliebigen vorstehend erwähnten Systems gemäß dem dritten Aspekt können sich die erste und die zweite Öffnungsgeometrie voneinander unterscheiden.

**[0024]** In jedem beliebigen vorstehend erwähnten System gemäß dem dritten Aspekt kann ein oder können mehrere Unterschiede zwischen der ersten und der zweiten Leitungsgeometrie und/oder zwischen der ersten und der zweiten Öffnungsgeometrie helfen, Verbrennungsdynamikamplituden zwischen dem ersten Brennstoffinjektor und dem zweiten Brennstoffinjektor zu reduzieren.

**[0025]** In einigen Ausführungsformen eines beliebigen vorstehend erwähnten Systems gemäß dem dritten Aspekt kann der erste Brennstoffinjektor mit einer ersten Brennkammer gekoppelt sein, und der zweite Brennstoffinjektor kann mit einer zweiten Brennkammer gekoppelt sein.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0026]** Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser

verstanden, wenn die folgende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in denen gleiche Bezugszeichen durch die Zeichnungen hinweg gleiche Teile kennzeichnen, worin zeigen:

**[0027]** **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Gasturbinensystems mit mehreren Brennkammern, wobei jede Brennkammer mit einem Brennstoffkreislauf zur späten Magergemischeinspritzung (LLI) ausgestattet ist;

**[0028]** **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer der Brennkammern nach **Fig. 1**, einschließlich einer oder mehrerer Brennstoffleitungen innerhalb des LLI-Brennstoffkreislaufs, bei denen die Position einer Vor-Öffnung innerhalb jeder Brennstoffleitung von einer Brennstoffleitung zur anderen variiert, um zu helfen, die Verbrennungsdynamik und/oder die modale Kopplung der Verbrennungsdynamik zu kontrollieren, um die Möglichkeit unerwünschter Schwingungsantworten in stromabwärtigen Bauteilen zu reduzieren;

**[0029]** **Fig. 3** eine quergeschnittene schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Querschnittsansicht der Brennkammer nach **Fig. 2**, geschnitten entlang der Linie 3-3, unter Veranschaulichung der einen oder mehreren Brennstoffleitungen, die eingerichtet sind, um einen sekundären Brennstoff von der Vor-Öffnung zu einer Nach-Öffnung zu leiten;

**[0030]** **Fig. 4** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Gasturbinensystems nach **Fig. 1** unter Veranschaulichung mehrerer Brennkammern, die jeweils ein oder mehrere Brennstoffzufuhrsysteme aufweisen.

**[0031]** **Fig. 5** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform von zwei Brennstoffzufuhrsystemen, die mit einer Brennkammer nach **Fig. 4** gekoppelt sind; und

**[0032]** **Fig. 6** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform von Vor-Öffnungen (z.B. einer ersten Vor-Öffnung und einer zweiten Vor-Öffnung) der zwei Brennstoffzufuhrsysteme nach **Fig. 5**.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0033]** Eine oder mehrere spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind nachstehend beschrieben. In dem Bemühen, eine konzise Beschreibung dieser Ausführungsformen zu liefern, können gegebenenfalls nicht alle Merkmale einer tatsächlichen Implementierung in der Beschreibung beschrieben sein. Es sollte erkannt werden, dass bei der Entwicklung einer jeden derartigen tatsächlichen Implementierung wie in jedem Ingenieurs- oder Kon-

struktionsprojekt zahlreiche implementationsspezifische Entscheidung getroffen werden müssen, um die speziellen Ziele der Entwickler, wie beispielsweise die Einhaltung systembezogener und unternehmensbezogener Randbedingungen, einzuhalten, die von einer Implementierung zur anderen variieren können. Außerdem sollte erkannt werden, dass ein derartiger Entwicklungsaufwand zwar komplex und zeitaufwendig sein kann, jedoch für Fachleute, die den Nutzen dieser Offenbarung haben, nichtsdestoweniger ein routinemäßiges Unterfangen zur Konstruktion, Fertigung und Herstellung darstellen würde.

**[0034]** Wenn Elemente verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die Artikel „ein“, „eine“, „der“, „die“ und „das“ bedeuten, dass ein oder mehrere der Elemente vorhanden sind. Die Ausdrücke „aufweisen“, „enthalten“ und „haben“ sollen umfassend sein und bedeuten, dass außer den aufgeführten Elementen weitere Elemente vorhanden sein können.

**[0035]** Die vorliegende Offenbarung ist auf die Reduktion der Verbrennungsdynamik und/oder der modalen Kopplung der Verbrennungsdynamik gerichtet, um unerwünschte Schwingungsreaktionen in stromabwärtigen Bauteilen eines Gasturbinensystems und/oder den Brennkammern selbst zu reduzieren. Eine Gasturbinenbrennkammer (oder Brennkammeranordnung) kann aufgrund des Verbrennungsprozesses, aufgrund von Eigenschaften von eingelassenen Fluidströmungen (z.B. Brennstoff, Oxidationsmittel, Verdünnungsmittel, etc.) in die Brennkammer und verschiedenen weiteren Faktoren Verbrennungsdynamiken erzeugen. Die Verbrennungsdynamik kann als Druckschwankungen, -pulsationen, -schwankungen und/oder -wellen mit gewissen Frequenzen gekennzeichnet sein. Die Fluidströmungseigenschaften können Geschwindigkeit, Druck, Geschwindigkeits- und/oder Druckschwankungen, Veränderungen in Strömungspfaden (z.B. Biegungen, Formen, Unterbrechungen, usw.) oder eine beliebige Kombination von diesen enthalten. Insgesamt kann die Verbrennungsdynamik in verschiedenen Bauteilen stromaufwärts und/oder stromabwärts von der Brennkammer sowie in den Brennkammern selbst Schwingungsantworten und/oder ein Resonanzverhalten hervorrufen. Z.B. kann die Verbrennungsdynamik (z.B. bei gewissen Frequenzen, Frequenzbereichen, Amplituden, Brennkammer-Brennkammer-Phasen, etc.) sich stromaufwärts und stromabwärts in dem Gasturbinensystem ausbreiten. Falls die Gasturbinenbrennkammern, stromaufwärtige Bauteile und/oder stromabwärtige Bauteile Eigen- oder Resonanzfrequenzen aufweisen, die durch diese Druckschwankungen angeregt werden (d.h. eine Verbrennungsdynamik), können die Druckschwankungen dann möglicherweise Schwingungen, Beanspruchung, Ermüdung usw. verursachen. Zu den Bauteilen können Brennkammerauskleidungen, Strömungshülsen von Brenn-

kammern, Brennkammerkappen, Brennstoffdüsen, Turbinenleitschaufeln, Turbinenlaufschaufeln, Turbinendeckbänder, Turbinenlaufräder, Lager, Brennstoffzufuhranordnungen oder eine beliebige Kombination von diesen gehören. Die stromabwärtigen Bauteile sind von besonderem Interesse, da sie für Verbrennungstöne, die phasengleich und kohärent sind, empfindlicher sind. Somit reduziert eine Reduktion der Kohärenz, eine Veränderung der Phase und/oder eine Reduktion der Amplituden der Verbrennungsdynamik insbesondere die Möglichkeit unerwünschter Schwingungen in stromabwärtigen Komponenten. Eine Möglichkeit zur Reduktion der Kohärenz der Verbrennungsdynamik unter den Brennkammern besteht darin, die Frequenzbeziehung zwischen zwei oder mehreren Brennkammern unter Verringerung jeglicher Brennkammer-Brennkammer-Kupplung zu verändern. Wenn die Verbrennungsdynamikfrequenz in einer Brennkammer von derjenigen der anderen Brennkammern weg getrieben wird, wird die modale Kopplung der Verbrennungsdynamik reduziert, was wiederum die Fähigkeit, dass der Brennkammerton eine Schwingungsantwort in stromabwärtigen Bauteilen hervorruft, reduziert. Ein alternatives Verfahren zur Reduktion der modalen Kopplung besteht darin, die konstruktive Interferenz der Brennstoffdüsen innerhalb derselben Brennkammer durch Einführung einer Phasenverzögerung zwischen den Brennstoffdüsen unter Reduktion der Amplituden in jeder Brennkammer und möglicherweise einer Verhinderung oder Reduktion der Brennkammer-Brennkammer-Kopplung zu reduzieren. Außerdem kann die Einbringung einer Phasenverzögerung zwischen den Brennkammern oder eine anderweitige Veränderung der Phasenbeziehung zwischen zwei oder mehreren Brennkammern ferner helfen, unerwünschte Schwingungen in dem Gasturbinensystem zu verhindern oder zu reduzieren.

**[0036]** Wie im Einzelnen nachstehend erläutert, können die offenbarten Ausführungsformen die physikalischen Eigenschaften einer Vor-Öffnung innerhalb einer Brennstoffleitung einer Brennstoffzufuhranordnung (z.B. eines Brennstoffkreislaufs zur späten Magergemischeinspritzung (eines LLI-Brennstoffkreislaufs)) variieren, um die akustische Impedanz des Brennstoffsystems zu modifizieren, was zu Verbrennungsdynamikfrequenzen in einer oder mehreren Brennkammern führen kann, die sich voneinander unterscheiden, zueinander phasenverschoben, verschmiert oder über einen größeren Frequenzbereich verteilt sind, oder eine beliebige Kombination hiervon, im Vergleich zu beliebigen Resonanzfrequenzen der Bauteile in dem Gasturbinensystem. Wie vorstehend erwähnt, kann ein Gasturbinensystem eine oder mehrere Brennkammeranordnungen (z.B. Brennkammerrohre, Brennkammern, etc.) enthalten, und jede Brennkammer kann mit einer primären Verbrennungszone und einer sekundären Verbrennungszone eingerichtet sein. Insbesondere kann

die sekundäre Verbrennungszone in einigen Ausführungsformen einen LLI-Brennstoffkreislauf enthalten, der eingerichtet ist, um einen sekundären Brennstoff in eine sekundäre Verbrennungszone zur Verbrennung zu leiten. In manchen Ausführungsformen enthält jeder LLI-Brennstoffkreislauf eine oder mehrere Brennstoffleitungen, die sich entlang entweder der Auskleidung oder der Strömungshülse der Brennkammer erstrecken, und jede Brennstoffleitung ist eingerichtet, um einen sekundären Brennstoff einem oder mehreren Brennstoffinjektoren zuzuführen, die den sekundären Brennstoff in die sekundäre Verbrennungszone leiten. Insbesondere kann jede von der einen oder den mehreren LLI-Brennstoffleitungen eine oder mehrere Vor-Öffnungen enthalten, durch die der Brennstoff in dem LLI-Brennstoffkreislauf strömt, bevor er an den LLI-Brennstoffdüsen ankommt, wo der Brennstoff in die Brennkammer durch eine oder mehrere Nach-Öffnungen eingespritzt wird. Die akustische Brennstoffsystemimpedanz der Brennstoffdüsen ist durch die Geometrie der Vor-Öffnung, die Geometrie der Nach-Öffnung und das Volumen zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung definiert. Demgemäß passt eine Variation der Position der Vor-Öffnung innerhalb des LLI-Brennstoffkreislaufs das Volumen zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung an, um die akustische Brennstoffsystemimpedanz einer oder mehreren Brennstoffdüsen anzupassen. Zusätzlich kann eine Veränderung der Größe, Gestalt und/oder Anzahl von Löchern in der Vor-Öffnung ebenfalls die akustische Brennstoffsystemimpedanz einer oder mehrerer Brennstoffdüsen verändern.

**[0037]** In manchen Ausführungsformen können sich die physikalischen Eigenschaften (zum Beispiel Position, Bemessung, Gestalt, Lage, effektive Fläche, etc.) der Vor-Öffnung jeder Brennstoffleitung innerhalb des LLI-Brennstoffkreislaufs einer einzelnen Brennkammer von den physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung einer anderen Brennstoffleitung innerhalb desselben LLI-Brennstoffkreislaufs unterscheiden. Zum Beispiel kann die Lage der Vor-Öffnung entlang der LLI-Brennstoffleitung verschoben werden, so dass sich diese näher an oder weiter weg von der Nach-Öffnung befindet, womit das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung verändert wird, wodurch die Brennstoffsystemimpedanz verändert wird. Als ein weiteres Beispiel kann die Lage der Vor-Öffnung relativ zu der Nach-Öffnung im Verhältnis zu anderen Brennstoffleitungen derselben Brennkammer verschoben werden, womit das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung verändert wird und dadurch die Brennstoffsystemimpedanz modifiziert wird. Ferner können in manchen Ausführungsformen die physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnungen der einen oder der mehreren Brennstoffleitungen innerhalb einer einzelnen Brennkammer sich von den physikalischen Eigenschaften der Vor-

Öffnungen von einer oder mehreren Brennstoffleitungen innerhalb einer anderen (z.B. benachbarten, abwechselnden) Brennkammer innerhalb des Gasturbinensystems unterscheiden. Zum Beispiel kann die Lage der Vor-Öffnung relativ zu der Nach-Öffnung entlang der LLI-Brennstoffleitungen einer ersten Brennkammer im Vergleich zu der Lage der Vor-Öffnung relativ zu der Nach-Öffnung einer anderen Brennkammer (z.B. einer benachbarten Brennkammer) verschoben sein, wodurch das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung verändert wird und somit die Brennstoffsystemimpedanz zwischen verschiedenen Brennkammern innerhalb des Gasturbinensystems modifiziert wird.

**[0038]** In einigen Ausführungsformen wird durch Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung (z.B. der Lage, Größe, Position, Gestalt, effektiven Fläche, etc.) von einer oder mehreren Brennstoffleitungen innerhalb des LLI-Brennstoffkreislaufs der Brennkammer der Betrag und die Phase der Brennstoffsystemimpedanz für die Brennstoffdüse verändert, was die Schwankungskomponente der Wärmefreisetzung und folglich die Verbrennungsdynamik der Brennkammer beeinflusst. Eine Variation der Brennstoffsystemimpedanz zwischen zwei oder mehreren Brennstoffleitungen innerhalb einer Brennkammer durch Veränderung der physikalischen Eigenschaften von zwei oder mehreren Vor-Öffnungen hat unterschiedliche Beträge und Phasen der akustischen Brennstoffsystemimpedanz für die verschiedenen Brennstoffdüsen zur Folge. Der Unterschied bei der Phase der Brennstoffsystemimpedanz zwischen den Brennstoffdüsen hat eine destruktive Interferenz der Wärmefreisetzungsschwingungen, die jeder der Brennstoffdüsen zugeordnet sind, zur Folge, wobei die Amplitude der Verbrennungsdynamik reduziert und möglicherweise der Frequenzgehalt der Verbrennungsdynamik über einen breiteren Frequenzbereich verwischt wird.

**[0039]** In einigen Ausführungsformen können die physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung (z.B. Lage, Größe, Position, Gestalt, effektive Fläche, etc.) jeder Brennstoffleitung innerhalb einer bestimmten Brennkammer gleich sein, können jedoch im Vergleich zu den Vor-Öffnungen von Brennstoffleitungen in anderen Brennkammern innerhalb des Systems variiert werden. Eine Variation der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnungen unter den Brennstoffleitungen verschiedener Brennkammern kann die akustische Brennstoffsystemimpedanz und folglich die Verbrennungsdynamik von Brennkammer zu Brennkammer in einer Weise verändern, um die Verbrennungsdynamikamplituden zu reduzieren, die Verbrennungsdynamikfrequenz zu modifizieren, die Phase der Verbrennungsdynamik zu modifizieren und/oder die modale Kopplung der Verbrennungsdynamik unter den mehreren Gasturbinenbrennkammern zu reduzieren. In einigen Ausführungsformen

können die physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung innerhalb einer bestimmten Brennkammer sowie unter einer oder mehreren Brennkammern des Systems variiert werden, um dynamische Amplituden sowie die Kohärenz innerhalb und/oder unter den Brennkammern des Systems zu reduzieren. Zum Beispiel können die physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnungen unter den Brennkammern entsprechend verschiedenen Mustern oder Gruppierungen variiert werden, wie dies nachstehend näher erläutert ist. In der Tat können derartige Variationen helfen, die Amplituden der Verbrennungsdynamik zu reduzieren und/oder die Möglichkeit einer modalen Kopplung der Brennkammern zu reduzieren, insbesondere bei Frequenzen, die Resonanzfrequenzen der Bauteile des Gasturbinensystems gleichen.

**[0040]** Unter Berücksichtigung des Vorstehenden zeigt **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Gasturbinensystems **10** mit mehreren Brennkammern **12** und einem Brennstoffzufuhrkreislauf **14**, wie beispielsweise einem LLI-Brennstoffkreislauf **14**. Insbesondere kann jede Brennkammer **12** einem Brennstoffkreislauf **14** zugeordnet sein, der einen flüssigen und/oder gasförmigen Brennstoff in die Brennkammern **12** leitet. Zum Beispiel kann der Brennstoffkreislauf **14** eingerichtet sein, um einen flüssigen und/oder gasförmigen sekundären Brennstoff **16** (z.B. sekundären Brennstoff **16**, zweiten Brennstoff **16**) zu einem oder mehreren Brennstoffzufuhrsystemen **18** der Brennkammer **12** zu leiten. Jedes Brennstoffzufuhrsystem **18** der Brennkammer **12** enthält eine Vor-Öffnung **20**, die an einer Brennstoffleitung **22** (wie in **Fig. 2** veranschaulicht) der Brennkammer **12** angeordnet ist, und eine Nach-Öffnung **24**, die an der Brennstoffleitung **22** angeordnet und im Wesentlichen innerhalb einer Brennstoffdüse angeordnet ist, wie beispielsweise eine sekundäre Brennstoffdüse (wie in **Fig. 2** veranschaulicht) der Brennkammer **12**. Der sekundäre Brennstoff **16** kann zu der Brennkammer **12** von dem Brennstoffkreislauf **14** geliefert werden. Von dem Brennstoffkreislauf **14** aus strömt der Brennstoff durch die Vor-Öffnung **20** in der Brennstoffleitung **22**, und er kann anschließend durch die sekundäre Brennstoffdüse **64** über eine oder mehrere Nach-Öffnungen **24** geleitet werden. Wie vorstehend erwähnt, kann eine Variation der Geometrien der Vor-Öffnungen **20**, wie vorstehend beschrieben, die akustische Brennstoffsysteimpedanz einer oder mehrerer der sekundären Düsen **64** anpassen, was zu einer Verschiebung der Verbrennungsdynamikfrequenz und/oder zu größeren Schwankungen des Frequenzgehaltes der resultierenden Verbrennungsdynamik und/oder zu reduzierten Amplituden der Verbrennungsdynamik führt.

**[0041]** Das Gasturbinensystem **10** enthält die eine oder mehreren Brennkammern **12** mit den Brennstoffleitungssystemen **18**, einen Verdichter **26** und eine Turbine **28**. Die Brennkammern **12** enthalten pri-

märe Brennstoffdüsen **30**, die einen primären Brennstoff **32** (z.B. Flüssigbrennstoff und/oder einen gasförmigen Brennstoff, einen ersten Brennstoff, etc.) in die Brennkammern **12** zur Verbrennung innerhalb der primären Verbrennungszone leiten. Ebenso enthalten die Brennkammern sekundäre Brennstoffdüsen **64** (wie in **Fig. 2** veranschaulicht), die einen sekundären Brennstoff **16** in die Brennkammern **12** zur Verbrennung innerhalb der sekundären Verbrennungszone leiten. Insbesondere ist jede Brennkammer **12** dem LLI-Brennstoffkreislauf **14** zugeordnet, der eingerichtet ist, um den sekundären Brennstoff **16** der einen oder den mehreren sekundären Brennstoffdüsen **64** über die eine oder mehreren Brennstoffleitungen **22** zuzuführen. Die Brennkammern **12** zünden und verbrennen ein Luft-Brennstoff-Gemisch, wobei die heißen Verbrennungsgase **34** anschließend in die Turbine **28** weitergeleitet werden. Die Turbine **28** enthält Turbinelaufschaufeln, die mit einer Welle **36** verbunden sind, die auch mit verschiedenen weiteren Komponenten überall in dem System **10** verbunden ist. Während die Verbrennungsgase **34** durch die Turbinenschaufeln in der Turbine **38** strömen, wird die Turbine **28** drehend angetrieben, was die Welle **36** veranlasst umzulaufen. Schließlich treten die Verbrennungsgase **34** aus dem Turbinensystem **10** über einen Abgasauslass **38** aus. Ferner kann die Welle **36** mit einer Last **40** gekoppelt sein, die durch eine Drehung der Welle **36** angetrieben ist. Zum Beispiel kann die Last **40** eine beliebige geeignete Vorrichtung sein, die Leistung über die Drehabgabe des Turbinensystems **10** erzeugen kann, wie beispielsweise eine Kraftwerksanlage oder eine externe mechanische Last. Zum Beispiel kann die Last **40** einen elektrischen Generator, einen Propeller eines Flugzeugs und dergleichen enthalten.

**[0042]** In einer Ausführungsform des Turbinensystems **10** sind Verdichterlaufschaufeln als Bauteile des Verdichters **26** enthalten. Die Laufschaufeln innerhalb des Verdichters **26** sind mit der Welle **36** verbunden und rotieren, wenn die Welle **36** durch die Turbine **28** drehend angetrieben wird, wie vorstehend beschrieben. Die Rotation der Laufschaufeln innerhalb des Verdichters **26** verdichtet eine Luft **43** aus einem Lufteinlass **42** zu Druckluft **44**. Die Druckluft **44** wird anschließend in die primären Brennstoffdüsen **30** der Brennkammern **12** eingespeist. Die primären Brennstoffdüsen **30** vermischen die Druckluft **44** und einen Brennstoff miteinander, um ein geeignetes Gemischverhältnis für eine Verbrennung (z.B. eine Verbrennung, die den Brennstoff veranlasst, vollständiger zu verbrennen) zu schaffen, um so keinen Brennstoff zu verschwenden oder keine übermäßigen Emissionen herbeizuführen.

**[0043]** Wie in weiteren Einzelheiten nachstehend erläutert, können die physikalischen Eigenschaften (z.B. Position, Größe, Lage, Gestalt, effektive Fläche, etc.) der Vor-Öffnung **20** zwischen verschie-

denen Brennstoffleitungen **22** derselben Brennkammer **12** variieren und/oder können zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** verschiedener Brennkammern **12** innerhalb desselben Gasturbinensystems **10** variieren. Wie vorstehend erwähnt, kann eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung **20** und/oder des Volumens zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung **24** zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** derselben Brennkammer **12** helfen, die akustische Brennstoffsystemimpedanz zu variieren, und dadurch helfen, unerwünschte Schwingungsantworten innerhalb der Brennkammer und/oder in stromabwärtigen Bauteilen des Systems **10** zu reduzieren. Ebenso kann eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung **20** und/oder des Volumens zwischen der Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung **24** zwischen verschiedenen Brennkammern **12** helfen, die akustische Brennstoffsystemimpedanz zu variieren, was dadurch hilft, Amplituden und/oder eine Kohärenz der Verbrennungsdynamik zu reduzieren und/oder die Phase der Verbrennungsdynamik zu modifizieren.

**[0044]** In einigen Ausführungsformen können Änderungen der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung **20** für eine spezielle Brennstoffdüse die effektive Fläche und/oder das Druckverhältnis für diese Brennstoffdüse verändern, was wiederum Variationen des Massenstroms des sekundären Brennstoffs **16**, der in die Brennkammer **12** eintritt, zur Folge haben kann. Z.B. kann die Gestalt der Vor-Öffnung **20** (z.B. rund, oval, quadratisch, polygonal, etc.) zwischen und/oder unter verschiedenen Brennkammern **12** variiert werden, um die effektive Fläche und/oder das Druckverhältnis der Vor-Öffnung **20** zu variieren, was den Massenstrom des sekundären Brennstoffs **16**, der in die Brennkammer **12** eintritt, variieren würde. Als ein weiteres Beispiel kann eine Verschiebung der Lage der Vor-Öffnung **20** relativ zu der Nach-Öffnung **24** (z.B. näher zu der Nach-Öffnung **24** oder von der Nach-Öffnung **24** weg) das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** vergrößern oder verringern, was dadurch eine Phasenverzögerung zwischen einer oder mehreren sekundären Brennstoffdüsen **24** zur Folge hat und eine destruktive Interferenz der Äquivalenzverhältnisschwankungen, die durch die Brennstoffdüsen **64** hervorgerufen werden, verursacht. Auf diese Weise kann eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften Variationen zwischen der Wärmefreisetzung der LLI-Injektoren innerhalb der Brennkammer zur Folge haben, wodurch die Größe der zeitlichen Variation des dynamischen Frequenzgehalt in der Flammenregion vergrößert und/oder die destruktive Interferenz des dynamischen Frequenzgehalts in der Flammenregion vergrößert wird, was eine Reduktion der Amplitude der Verbrennungstöne und/oder der Kohärenz der Verbrennungsdynamik zur Folge haben kann.

**[0045]** In einigen Ausführungsformen kann/können die Größe und/oder Gestalt der Vor-Öffnung **20** zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** derselben Brennkammer **12** variieren und/oder kann/können zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** verschiedener Brennkammern **12** innerhalb desselben Gasturbinensystems **10** variieren. Während Variationen bei der Vor-Öffnung **20** beschrieben sind, sollte ferner beachtet werden, dass Veränderungen an den physikalischen Eigenschaften der Nach-Öffnung **24** (z.B. der Größe, Gestalt, Lage, Position, effektiven Fläche, etc.) ebenfalls helfen können, die Amplituden der Verbrennungsdynamik innerhalb des Systems **10** zu reduzieren. Ebenso kann eine Variation der physikalischen Eigenschaften der Brennstoffleitung **22** (z.B. Länge, Weite, Umfang, Durchmesser, effektive Fläche, etc.), um den Abstand und das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** zu verändern, helfen, unerwünschte Schwingungsantworten innerhalb des Gasturbinensystems **10** zu reduzieren.

**[0046]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer der Brennkammern **12**, die in **Fig. 1** dargestellt sind, wobei die Brennkammer **12** das Brennstoffzufuhrsystem **18** (z.B. ein erstes Brennstoffzufuhrsystem **17**, ein zweites Brennstoffzufuhrsystem **19**, etc.) mit der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24**, die entlang der Brennstoffleitung **22** angeordnet sind, enthält. Es sollte beachtet werden, dass in manchen Ausführungsformen die Vor-Öffnung **20** an einer beliebigen Stelle entlang der Brennstoffleitung **22** angeordnet sein kann, wie in **Fig. 2** veranschaulicht. Insbesondere können die physikalischen Eigenschaften (z.B. Lage, Größe, Gestalt, Dimensionen, Position) der Komponenten des Brennstoffzufuhrsystems **18** (z.B. der Vor-Öffnung **20**, der Brennstoffleitung **22** und der Nach-Öffnung **24**) zwischen verschiedenen Brennstoffzufuhrsystemen **18** der Brennkammer **12** variiert werden. Z.B. kann die Position der Vor-Öffnung **20** relativ zu der Nach-Öffnung **24** (und somit der dazwischenliegende Abstand und das dazwischenliegende Volumen) des ersten Brennstoffzufuhrsystems **17** sich von der Position der Vor-Öffnung **20** (und somit dem dazwischenliegenden Abstand und Volumen) relativ zu der Nach-Öffnung **24** des zweiten Brennstoffzufuhrsystems **19** unterscheiden, wie in Einzelheiten nachstehend beschrieben. Derartige Variationen können die akustische Brennstoffsystemimpedanz der zugehörigen sekundären Brennstoffdüsen **24** variieren, was Verbrennungsdynamikfrequenzen ergibt, die zwischen den Brennstoffdüsen **64** und/oder zwischen den Brennkammern **12** unterschiedlich und/oder phasenverschoben sind, wodurch unerwünschte Schwingungsantworten in dem Gasturbinensystem **10** reduziert werden. Z.B. tritt die maximale destruktive Interferenz zwischen den Brennstoffdüsen **64** auf, wenn die Phasenverzögerung zwischen den Brennstoffdüsen **64** ungefähr 180 Grad beträgt.

**[0047]** Die Brennkammer **12** enthält ein Kopfende **50** mit einer Endabdeckung **52**, eine Brennkammerkappenanordnung **54** und eine primäre Verbrennungszone **56**. Die Endabdeckung **52** und die Brennkammerkappenanordnung **54** können eingerichtet sein, um die primären Brennstoffdüsen **30** in dem Kopfende **50** zu halten. In der veranschaulichten Ausführungsform leiten die primären Brennstoffdüsen **30** den primären Brennstoff **32** zu der primären Verbrennungszone **56**. Die Brennkammer **12** enthält eine Außenwand (z.B. die Strömungshülse **68**), die längs des Umfangs um eine Innenwand (z.B. die Verbrennungsauskleidung **66**) herum angeordnet ist. Die Innenwand kann auch ein Übergangsstück **69** enthalten, das in Richtung auf eine erste Stufe der Turbine **28** im Wesentlichen konvergiert. Eine Prallhülse **67** ist längs des Umfangs um das Übergangsstück **69** herum angeordnet. Ferner empfangen die primären Brennstoffdüsen **30** die Druckluft **44** von dem Ringraum **58** (z.B. zwischen dem Übergangsstück **69** und der Prallhülse **67** sowie zwischen der Auskleidung **66** und der Strömungshülse **68**) der Brennkammer **12**, und sie vereinigen die Druckluft **44** mit dem primären Brennstoff **32**, um ein Luft/ Brennstoff-Gemisch zu bilden, das in der primären Verbrennungszone **56** gezündet und verbrannt wird, um Verbrennungsgase (z.B. ein Abgas) zu erzeugen.

**[0048]** Die Verbrennungsgase strömen in eine Richtung **60** zu einer sekundären Verbrennungszone **62**. Der LLI-Brennstoffkreislauf **14** liefert den sekundären Brennstoff **16**, der durch die Vor-Öffnung **20** hindurch strömt, in der Brennstoffleitung **22** zu der Nach-Öffnung **24**. Insbesondere empfangen die Nach-Öffnungen **24** in den sekundären Brennstoffdüsen **64** den sekundären Brennstoff **16** von der Brennstoffleitung **22**, und sie leiten den sekundären Brennstoff **16** in die sekundäre Verbrennungszone **62** zu dem Strom Verbrennungsgase. Ferner können die sekundären Brennstoffdüsen **64** die Druckluft **44** von dem Ringraum **58** der Brennkammer **12** empfangen und die Druckluft **44** mit dem sekundären Brennstoff **16** vereinigen, um ein Luft/Brennstoff-Gemisch zu bilden, das in der sekundären Verbrennungszone **62** gezündet und verbrannt wird, um die Verbrennungsgase zu bilden. Insbesondere strömt die Druckluft **44** durch den Ringraum **58** zwischen einem Übergangsstück **69** und einer Prallhülse **67** hindurch und anschließend zwischen einer Auskleidung **66** und einer Strömungshülse **68** der Brennkammer **12**, um das Kopfende **50** zu erreichen. Die Verbrennungsgase strömen in der Richtung **60** durch das Übergangsstück **69** der Brennkammer **12** hindurch und treten in die Turbine **28** ein, wie vorstehend erwähnt.

**[0049]** Wie vorstehend beschrieben, kann eine Verbrennungsdynamik (z.B. die Erzeugung der heißen Verbrennungsgase) innerhalb der primären Verbrennungszone **56** und der sekundären Verbrennungszone **62** zu unerwünschten Schwingungsantworten in-

nerhalb der Brennkammer **12** führen. Es kann hilfreich sein, die Verbrennungsdynamik innerhalb der oder unter den Brennkammern **12** zu reduzieren um zu helfen, unerwünschte Schwingungsantworten zu reduzieren. Demgemäß kann in einigen Ausführungsformen eine Variation der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung innerhalb und/oder unter den Brennkammern **12** helfen, Schwingungsantworten in dem Gasturbinensystem **10** zu reduzieren und eine Schwingungsbeanspruchung, einen Verschleiß, eine Leistungsbeeinträchtigung oder andere unerwünschte Einflüsse auf die Bauteile des Gasturbinensystems **10** (z.B. Turbinenlaufschaufern, Turbinendeckbänder, Turbinenleitapparate, Abgaskomponenten, ein Brennkammerübergangsstück, eine Brennkammerauskleidung, etc.) zu minimieren.

**[0050]** In einigen Ausführungsformen kann die Position der Vor-Öffnung **20** relativ zu der Nach-Öffnung **24** (und somit der dazwischen liegende Abstand und das dazwischenliegende Volumen) zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** der Brennkammer **12** variiert werden, so dass die Vor-Öffnung **20** entlang der Brennstoffleitung **22** verschoben wird, um näher an der Nach-Öffnung **24** und den sekundären Brennstoffdüsen **24** oder von diesen weiter entfernt zu liegen. Z.B. kann ein erster Abstand **72** zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des ersten Brennstoffzufuhrsystems **17** anders (z.B. länger, kürzer, größer, kleiner, etc.) als ein zweiter Abstand **74** zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des zweiten Brennstoffzufuhrsystems **19** sein. In der Tat können die Abstände auf der Basis der Stelle, an der die Vor-Öffnung **20** entlang der Brennstoffleitung **22** angeordnet ist, variieren oder eingerichtet sein, um auf dieser Basis zu variieren. In manchen Ausführungsformen kann eine Variation des Abstands **72**, **74** zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** vorgenommen werden, indem die Länge der Brennstoffleitung **22** stromaufwärts und stromabwärts von der Vor-Öffnung mittels eines oder mehrerer Abschnitte von Flanschrohren vergrößert oder verringert wird. In manchen Ausführungsformen kann die Länge der Brennstoffleitungen **22** zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** gleich sein, wobei jedoch die Lage der Vor-Öffnungen **20**, die entlang der Brennstoffleitung **22** angeordnet sind, zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** variiert kann. In der Tat kann eine Variation des Abstands (z.B. des ersten Abstands **72** und des zweiten Abstands **74** der Vor-Öffnung **20** relativ zu der Nach-Öffnung **24**) zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** Phasenverzögerungen zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** ergeben, die zu einer destruktiven Interferenz der Wärmefreisetzungsschwankungen der Brennstoffdüsen **64**, die mit jedem Brennstoffzufuhrsystem **18** verbunden sind, führen, wodurch die Amplitude der Brennkammertöne und möglicherweise die Kohärenz der Verbrennungsdynamik reduziert werden.

**[0051]** Ferner können in einigen Ausführungsformen physikalische Eigenschaften (z.B. Position, Lage, Größe, Gestalt, Dimensionen, effektive Fläche, etc.) anderer Bauteile des Brennstoffzufuhrsystems **18** zwischen verschiedenen Brennstoffzufuhrsystemen **18** (z.B. dem ersten Brennstoffzufuhrsystem **17** und dem zweiten Brennstoffzufuhrsystem **19**) variieren, wie dies weiter mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben ist. Z.B. kann/ können die Größe und/oder effektive Fläche der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24** (z.B. der Durchmesser des Durchgangs der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24**), die Gestalt des Durchgangs der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24** (z.B. oval, kreisförmig, rechteckig, eine beliebige geometrische Gestalt, etc.), der Winkel des Durchgangs der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24** (z.B. unter einem Winkel aufwärts geneigt, unter einem Winkel abwärts geneigt, etc.) und der gleichen zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** variieren. Ferner können in einigen Ausführungsformen die Vor-Öffnung **20** und die Nach-Öffnung **24** eine Reihe oder ein Muster von Löchern sein. In derartigen Ausführungsformen kann die Größe, die Gestalt, das Muster und/oder die Anordnung der Löcher der Vor-Öffnung **20** und der Löcher der Nach-Öffnung **24** zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** der Brennkammer **12** variieren. In einigen Ausführungsformen kann/können die Vor-Öffnung **20** und/oder die Nach-Öffnung **24** unter den mehreren Brennkammern **12** (z.B. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 oder mehreren Brennkammern **12**) mit verschiedenen Durchmessern, Formen, Größen, etc. variieren.

**[0052]** Zusätzlich können die physikalischen Eigenschaften der Brennstoffleitung **22** ebenfalls zwischen verschiedenen Brennstoffleitungen **22** der Brennkammer **12** variieren. Z.B. können die offenbarten Ausführungsformen zusätzlich zu einer Variation der Länge (z.B. des ersten Abstands **72** oder des zweiten Abstands **74**) der Brennstoffleitungen **22** auch den Durchmesser der Brennstoffleitung **22** und der gleichen variieren. In der Tat können auch eine oder mehrere physikalische Eigenschaften der offenbarten Ausführungsformen jede Komponente innerhalb des Brennstoffzufuhrsystems **18** zwischen verschiedenen Brennstoffzufuhrsystemen **18** der Brennkammer **12** variieren, so dass die Verbrennungsdynamik an jeder sekundären Brennstoffdüse **24** (hinsichtlich der Phase und/oder der Frequenz) anders ist, um zu helfen, unerwünschte Schwingungsantworten innerhalb des Gasturbinensystems **10** zu reduzieren.

**[0053]** In einigen Ausführungsformen können die dynamischen Amplituden sowie die Kohärenz zwischen verschiedenen Brennkammern **12** des Systems **10** durch Variation der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnungen unter den Brennkammern **12** reduziert werden, wie dies weiter in Bezug auf **Fig. 4** beschrieben ist. Während z.B. die Position der Vor-Öffnung **22** relativ zu der Nach-Öffnung **24** unter den

Brennstoffzufuhrsystemen **18** einer einzelnen Brennkammer **12** gleich sein kann, kann die Position der Vor-Öffnung **22** relativ zu der Nach-Öffnung **24** zwischen Brennstoffzufuhrsystemen **18** verschiedener Brennkammern **12** innerhalb des Systems **10** variiert werden. Ferner können die physikalischen Eigenschaften (z.B. Größe, Position, Gestalt, Lage, Dimensionen, effektive Fläche, etc.) der Komponenten des Brennstoffzufuhrsystems **18** (z.B. der Vor-Öffnung **20**, der Brennstoffleitung **22**, der Nach-Öffnung **24**) zwischen verschiedenen Brennkammern **12** des Systems **10** variieren. In einigen Ausführungsformen können die physikalischen Eigenschaften der Komponenten des Brennstoffzufuhrsystems **28** zwischen den Brennstoffleitungen **18** derselben Brennkammer **12** sowie zwischen Brennstoffleitungen **18** unterschiedlicher Brennkammern **12** variieren.

**[0054]** **Fig. 3** zeigt eine Querschnittsansicht einer Ausführungsform der in **Fig. 2** dargestellten Brennkammer **12** unter Veranschaulichung eines oder mehrerer Brennstoffzufuhrsysteme **18**, die jeweils den sekundären Brennstoff **16** aufnehmen. Insbesondere wird der sekundäre Brennstoff **16** durch die Vor-Öffnung **20** hindurch, durch die Brennstoffleitung **22** hindurch und anschließend durch die Nach-Öffnung **24** der sekundären Brennstoffdüsen **64** hindurch geleitet (wie in **Fig. 2** veranschaulicht). Die Brennstoffleitungen **22**, die aus einem oder mehreren Abschnitten von Flanschrohrleitungen bestehend, erstrecken sich entlang der Außenseite der Strömungshülse **68** der Brennkammer **12**, wie in **Fig. 2** veranschaulicht, so dass die Brennstoffleitungen **22** den sekundären Brennstoff **16** von der Vor-Öffnung **20** zu den einen oder den mehreren sekundären Brennstoffdüsen **64** leiten. Während die veranschaulichte Ausführungsform die Brennstoffleitungen **22** mit abwechselnden großen und kleinen Durchmessern zeigt, wie nachstehend weiter erläutert, sollte beachtet werden, dass in anderen Ausführungsformen die Brennstoffleitungen **22** beliebig bemessene Durchmesser aufweisen können.

**[0055]** Insbesondere können die physikalischen Eigenschaften der Komponenten jedes Brennstoffzufuhrsystems **18** innerhalb der Brennkammer **12** variieren, so dass sich die Größe, Gestalt, Dimensionen, Konfiguration, Position, Lage und der gleichen zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** einer einzelnen Brennkammer **12** und/oder zwischen benachbarten Brennkammern **12** voneinander unterscheiden. Z.B. unterscheidet sich in der veranschaulichten Ausführungsform die Größe der Vor-Öffnung **20** und der Brennstoffleitung **22** für jedes benachbarte Brennstoffzufuhrsystem **18**. Z.B. ist ein erster Durchmesser **78** der Brennstoffleitung **22** des ersten Brennstoffzufuhrsystems **17** größer als ein zweiter Durchmesser **80** der Brennstoffleitung **22** des zweiten Brennstoffzufuhrsystems **19**. Es sollte beachtet werden, dass, während die veranschaulichte Ausführungsform ab-

wechselnde und/oder benachbarte Brennstoffzufuhrsysteme **18** (z.B. das erste Zufahrtsystem **17** und das zweite Brennstoffzufahrtsystem **19**) mit Variationen der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung **20** und/oder der Brennstoffleitung **22** zeigt, in anderen Ausführungsformen eine beliebige Kombination und/oder ein beliebiges Muster der Brennstoffzufahrtsysteme **18** Variationen der physikalischen Eigenschaften der Komponenten der Brennstoffzufahrtsysteme **18** aufweisen können. Ferner können eine oder mehrere Variationen physikalischer Eigenschaften zwischen beliebigen zwei Brennstoffzufahrtsystemen **18** vorliegen. Wie vorstehend erwähnt, zeigt die veranschaulichte Ausführungsform Brennstoffleitungen **22**, die sich zwischen dem ersten Durchmesser **78** und dem zweiten Durchmesser **80** abwechseln. In anderen Ausführungsformen kann die Durchmessergröße der Brennstoffleitungen **22** zwischen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 oder mehreren verschiedenen Größen, Formen, etc. wechseln.

**[0056]** **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des Gasturbinensystems **10** nach **Fig. 1** unter Darstellung mehrerer Brennkammern **12**, die jeweils ein oder mehrere Brennstoffzufahrtsysteme **18** aufweisen. Insbesondere enthält jedes Brennstoffzufahrtsystem **18** verschiedene Komponenten, wie beispielsweise die Vor-Öffnung **20**, die Brennstoffleitung **22** und die Nach-Öffnung **24**, und die physikalischen Eigenschaften (z.B. Größe, Position, Durchmesser, Lage, Form, geometrische Eigenschaften, etc.) einer oder mehrerer Komponenten des Brennstoffzufahrtsystems **18** können innerhalb und/oder zwischen der einen oder den mehreren Brennkammern **12** des Systems **10** variieren. Wie vorstehend erwähnt, haben Variationen innerhalb der Komponenten des Brennstoffzufahrtsystems **18** einer einzelnen Brennkammer **12** und/oder zwischen den Komponenten der Brennstoffzufahrtsysteme **18** einer oder mehrerer Brennkammern **12** Änderungen der akustischen Brennstoffsystemimpedanz für eine oder mehrere Brennstoffdüsen **64** zur Folge, was dadurch zu einer Verschiebung der Verbrennungsdynamikfrequenz und/oder zu größeren Schwankungen in dem Frequenzgehalt der resultierenden Verbrennungsdynamik und/oder zu reduzierten Amplituden der Verbrennungsdynamik und/oder zu Phasenunterschieden der Verbrennungsdynamik zwischen zwei oder mehreren Brennkammern **12** führt. Insbesondere zeigt die veranschaulichte Ausführungsform die Variationen der Brennstoffzufahrtsysteme **18** innerhalb der Brennkammer **12** und/oder zwischen den Brennkammern **12**.

**[0057]** In der veranschaulichten Ausführungsform enthält das Gasturbinensystem **10** vier Brennkammern **12**, die mit der Turbine **28** gekoppelt sind. Jedoch enthält das Gasturbinensystem **10** in anderen Ausführungsformen eine beliebige Anzahl von Brennkammern **12** (z.B. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16 oder mehrere Brennkammern). Insbesondere enthält jede Brennkammer **12** den Brennstoffkreislauf **14**, der eingerichtet ist, um den sekundären Brennstoff **16** zu der Vor-Öffnung **20** zu liefern, die in der Brennstoffleitung **22** in der Nähe des Kopfes **50** der Brennkammer **12** positioniert ist. Ferner wird der sekundäre Brennstoff **16** durch die Vor-Öffnung **20** hindurch, durch die Brennstoffleitung **22** hindurch und durch die Nach-Öffnung **24** hindurch geleitet. Insbesondere ist die Nach-Öffnung **24** eingerichtet, um den sekundären Brennstoff **16** von der sekundären Brennstoffdüse **64** in die sekundäre Verbrennungszone **62** zu leiten. Wie vorstehend erwähnt, zünden und verbrennen die Brennkammern **12** das Luft-Brennstoff-Gemisch (z.B. den sekundären Brennstoff **16** und/oder die Druckluft **44**), und die heißen Verbrennungsgase **64** werden anschließend in die Turbine **28** weitergeleitet. Während die Verbrennungsgase **34** die Turbinenlaufschaufeln in der Turbine **28** durchströmen, können verschiedene Verbrennungsdynamiken unerwünschte Schwingungsantworten hervorrufen.

**[0058]** In einigen Ausführungsformen weisen die Komponenten des Brennstoffzufahrtsystems **18** innerhalb der Brennkammer **12** Variationen unter anderen Komponenten des Brennstoffzufahrtsystems **18** innerhalb derselben Brennkammer **12** auf. Z.B. ist in einer ersten Brennkammer **75** der erste Abstand **72** (und dadurch das akustische Volumen) zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des ersten Brennstoffzufahrtsystems **17** größer als ein zweiter Abstand **74** (und dadurch das akustische Volumen) zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des zweiten Brennstoffzufahrtsystems **19**. Insbesondere ist in dem veranschaulichten Beispiel die Vor-Öffnung **20** entlang der Brennstoffleitung **22** derart verschoben, dass sie sich näher an oder weiter entfernt von der Nach-Öffnung **24** befindet. Wie vorstehend erwähnt, variiert eine Variation des Abstands zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24**, und sie kann durch Vergrößerung oder Verringerung der Länge (und/oder des Durchmessers) eines oder mehrerer Abschnitte von Rohren (z.B. Flanschrohren), die die Brennstoffleitung **22** bilden, vorgenommen werden. Die Vor-Öffnung **20** kann zwischen den Flanschen enthalten (z.B. eine Zwischenplatte) sein oder als ein Teil eines der Abschnitte der Rohrleitung integriert sein. Durch Variation der Länge der Abschnitte der Brennstoffleitung **22**, die stromaufwärts und stromabwärts von der Vor-Öffnung **20** positioniert sind, kann der Abstand (und/oder der Durchmesser) zwischen den Vor-Öffnung und der Nach-Öffnung zwischen den Brennstoffzufahrtsystemen **18** variiert werden. Ferner kann eine Variation des akustischen Volumens unter verschiedenen Brennstoffzufahrtsystemen **18** (z.B. dem ersten Brennstoffzufahrtsystem **17** und dem zweiten Brennstoffzufahrtsystem **19**) inner-

halb derselben Brennkammer (z.B. der ersten Brennkammer **75**) helfen, die Brennstoffsystemimpedanz zwischen den Brennkammern **12** zu variieren. Es sollte beachtet werden, dass in anderen Ausführungsformen die Brennkammer **12** Variationen unter anderen Komponenten des Brennstoffzufuhrsystems **18**, wie beispielsweise der Größe und/oder Gestalt und/oder effektiven Fläche der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24**, der Länge der Brennstoffleitung **22**, des Durchmessers der Brennstoffleitung **22**, des Volumens der Brennstoffleitung **22**, des Konstruktionsmaterials der Bauteile des Brennstoffzufuhrsystems **18** und dergleichen, aufweisen kann.

**[0059]** In einigen Ausführungsformen können die Bauteile des Brennstoffzufuhrsystems **18** innerhalb der Brennkammer **12** Variationen im Vergleich zu den Bauteilen der Brennstoffzufuhrsysteme **18** unter anderen Brennkammern **12** innerhalb des Systems **10** aufweisen. Während z.B. die physikalischen Eigenschaften der Komponenten (z.B. der Vor-Öffnung **20**, der Brennstoffleitung **22**, der Nach-Öffnung **24**) der Brennstoffzufuhrsysteme **18** der zweiten Brennkammer **77** im Wesentlichen ähnlich sein können, können sich in einigen Ausführungsformen die physikalischen Eigenschaften der Bauteile der Brennstoffzufuhrsysteme **18** der zweiten Brennkammer **77** von den physikalischen Eigenschaften der Brennstoffzufuhrsysteme **18** der ersten Brennkammer **75** (z.B. des ersten Brennstoffzufuhrsystems **17** und/oder des zweiten Brennstoffzufuhrsystems **19**) unterscheiden. In der veranschaulichten Ausführungsform kann der Abstand der Vor-Öffnung **20** relativ zu der Nach-Öffnung **24** der zweiten Brennkammer **77** zwischen einem oder mehreren Brennstoffzufuhrsystemen **18** der zweiten Brennkammer **77** unterschiedlich sein. In anderen Worten kann die Position der Vor-Öffnung **20** entlang der Brennstoffleitung **22** relativ zu der Nach-Öffnung **24** zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** der zweiten Brennkammer **77** unterschiedlich sein. In der Tat sollte beachtet werden, dass die Vor-Öffnung **20** an einer beliebigen Stelle entlang der Brennstoffleitung **22** angeordnet sein kann, so dass der Abstand zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** entlang der Brennstoffleitung **22** trotz einer Brennstoffleitung **22** mit im Wesentlichen ähnlicher Länge zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** unterschiedlich sein kann, wie in der zweiten Brennkammer **77** veranschaulicht. Ferner unterscheidet sich die Position der Vor-Öffnung **20** entlang der Brennstoffleitung **22** relativ zu der Nach-Öffnung **24** (z.B. der Abstand zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24**) innerhalb der zweiten Brennkammer **77** von dem ersten Abstand **72** und/oder dem zweiten Abstand **74** innerhalb der ersten Brennkammer **75**. Demgemäß sind die Verbrennungsdynamik und die akustische Brennstoffsystemimpedanz der ersten Brennkammer **75** im Vergleich zu der zweiten Brennkammer **77** unterschiedlich, wodurch geholfen wird, Verbrennungsdy-

namikamplituden und/oder möglicherweise die modale Kopplung der Verbrennungsdynamik zwischen den beiden Brennkammern **12** zu reduzieren und/oder die Phasenverzögerung zwischen den beiden Brennkammern **12** zu modifizieren.

**[0060]** In einigen Ausführungsformen können andere physikalische Eigenschaften zwischen den Bauteilen der Brennstoffzufuhrsysteme **18** innerhalb derselben Brennkammer **12** variiert werden. Z.B. ist in der veranschaulichten Ausführungsform der erste Durchmesser **78** eines dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** einer dritten Brennkammer **79** größer als der zweite Durchmesser **80** eines vierten Brennstoffzufuhrsystems **23** derselben dritten Brennkammer **79**. In einigen Ausführungsformen ist der erste Abstand **72** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** größer als der zweite Abstand **74** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23**. Ferner kann in einigen Ausführungsformen die Gestalt und/oder die physikalische Konfiguration der Brennstoffzufuhrsysteme **18** innerhalb und/oder zwischen den Brennkammern **12** variieren. Z.B. ist in einer vierten Brennkammer **81** die Gestalt der Brennstoffleitung **22** innerhalb des Brennstoffzufuhrsystems **25** zu dem Auslass **70** der vierten Brennkammer **81** hin konvex gekrümmmt. In anderen physikalischen Konfigurationen des Brennstoffzufuhrsystems **18** kann die Gestalt der Brennstoffleitung **22** einen oder mehrere Winkel (z.B. eine gezackte Form), Wellen, raue Kanten und dergleichen enthalten, so dass der eine oder die mehreren Rohrleitungsabschnitte der Brennstoffleitung **22** anders geformt ist/sind als benachbarte Brennstoffleitungen **22** innerhalb der oder zwischen den Brennkammern **12**. Z.B. enthält ein Brennstoffzufuhrsystem **27** der vierten Brennkammer **81** eine Brennstoffleitung **22** in einer Wellenform. Ferner können die Brennstoffleitungen **22** in einigen Ausführungsformen Vorsprünge **82** (z.B. Wellen, raue Kanten, Winkel und dergleichen) auf einer inneren Oberfläche **84** der Brennstoffleitung **22** enthalten, die Variationen in der Brennstoffströmung des sekundären Brennstoffs **16** ergeben. Die Vorsprünge **82** können aus dem gleichen Material wie die Brennstoffleitung **22** ausgebildet sein. Wie vorstehend erwähnt, helfen derartige Variationen der physikalischen Eigenschaften zwischen verschiedenen Komponenten der Brennstoffzufuhrsysteme **18**, die Amplituden der Brennkammertöne und/oder die Kohärenz der Verbrennungsdynamik zu reduzieren.

**[0061]** **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** und des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23** der dritten Brennkammer **79**, wobei die dritte Brennkammer **79** in **Fig. 4** veranschaulicht ist. Insbesondere zeigt die veranschaulichte Ausführungsform physikalische Variationen zwischen dem dritten Brennstoffzufuhrsystem **21** und dem vierten Brennstoffzufuhrsystem **23**, wie beispielsweise Variationen des Abstands zwischen der Vor-Öffnung **20** und der

Nach-Öffnung **24** und Variationen des Durchmessers der Brennstoffleitung **22**. Z.B. ist der erste Abstand **72** zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** größer als der zweite Abstand **74** zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23**. Ferner ist der erste Durchmesser **78** der Brennstoffleitung **22** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** größer als der zweite Durchmesser **80** der Brennstoffleitung **22** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23**. Demgemäß kann ein erstes akustisches Volumen **83** innerhalb des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** größer sein als ein zweites akustisches Volumen **85** innerhalb des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23**. Es sollte beachtet werden, dass sich in anderen Ausführungsformen das erste akustische Volumen **83** innerhalb eines bestimmten Brennstoffzufuhrsystems **18** von dem zweiten akustischen Volumen **25** innerhalb eines anderen (z.B. benachbarten) Brennstoffzufuhrsystems **18** unterscheiden kann.

**[0062]** In einigen Ausführungsformen können andere Variationen zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** (z.B. dem dritten Brennstoffzufuhrsystem **21** und dem vierten Brennstoffzufuhrsystem **23**) vorliegen. In manchen Ausführungsformen kann die Weite der Vor-Öffnung **20** zwischen verschiedenen Brennstoffzufuhrsystemen **18** variieren. Z.B. kann eine erste Weite **86** (oder ein Durchmesser, eine Querschnittsfläche, Gestalt, etc.) der Vor-Öffnung **20** in dem dritten Brennstoffzufuhrsystem **21** größer als eine zweite Weite **88** (oder ein Durchmesser, eine Querschnittsfläche, Form, etc.) der Vor-Öffnung **20** in dem vierten Brennstoffzufuhrsystem **23** sein. Ebenso kann eine dritte Weite **90** (oder ein Durchmesser, eine Querschnittsfläche, Gestalt, etc.) der Nach-Öffnung **24** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** größer als eine vierte Weite **92** (oder ein Durchmesser, eine Querschnittsfläche, Gestalt, etc.) der Nach-Öffnung **24** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23** sein. Ferner kann sich die Weite der Vor-Öffnung **20** (z.B. die erste Weite **86** und/oder die zweite Weite **88**) von der Weite der Nach-Öffnung **24** (z.B. der dritte Weite **90** und/oder der vierte Weite **92**) innerhalb der und/oder zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **18** (z.B. zwischen den Brennstoffzufuhrsystemen **21** und **23**) voneinander unterscheiden.

**[0063]** In noch weitern Ausführungsformen können die Vor-Öffnungen **20** und/oder die Nach-Öffnungen **24** physikalische Eigenschaften (z.B. Form, Dimensionen, Löcher, Dicke, Material, Anordnung, Muster, Lochgestalt, Lochgröße, etc.) aufweisen, die sich innerhalb der und/oder zwischen den Brennkammern **12** voneinander unterscheiden. Z.B. kann eine erste Vor-Öffnung **94** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** sich von einer zweiten Vor-Öffnung **96** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23** unterscheiden, wie weiter in Bezug auf **Fig. 7** erläutert ist.

**[0064]** **Fig. 6** zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Vor-Öffnungen **20** der Brennstoffzufuhrsysteme **18**. Insbesondere kann die Vor-Öffnung **94** des dritten Brennstoffzufuhrsystems **21** physikalische Eigenschaften aufweisen, die von der zweiten Vor-Öffnung **96** des vierten Brennstoffzufuhrsystems **23** abweichen. Z.B. weisen die Vor-Öffnungen **94** und **96** Unterschiede hinsichtlich der Lochgestalten und der Lochmuster auf, was die effektive Fläche und/oder das Druckverhältnis des Massenstroms des sekundären Brennstoffs **16** durch die Vor-Öffnungen **94** und **96** verändern kann. In der veranschaulichten Ausführungsform kann die Vor-Öffnung **94** fünf kreisförmige Löcher enthalten, die in einem kreisringförmigen Muster um ein zentrales Loch **100** herum angeordnet sind. Ferner kann die Vor-Öffnung **96** fünf dreieckige Löcher **102** enthalten, die in einem kreisringförmigen Muster um ein zentrales Quadrat **104** herum angeordnet sind. Jedoch sollte beachtet werden, dass in anderen Mustern und Konfigurationen eine beliebige Anzahl von Löchern (z.B. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, etc.) in einer beliebigen Form oder einem beliebigen Muster (symmetrisch, spiralförmig, willkürlich, wellenförmig, schachbrettartig, etc.) angeordnet sein kann, so dass sich die Vor-Öffnungen **94** und **96** voneinander unterscheiden.

**[0065]** Technische Effekte der Erfindung umfassen eine Reduktion unerwünschter Schwingungsantworten, die mit einer Verbrennungsdynamik innerhalb und unter Brennkammern **12** des Gasturbinensystems **10** verbunden sind, durch Variation der physikalischen Eigenschaften der Vor-Öffnung **20** innerhalb des einen oder der mehreren Brennstoffzufuhrsysteme **18** der Brennkammer **12**, um die akustische Brennstoffsystemimpedanz (Amplitude und Phase) innerhalb des Systems **10** anzupassen. Z.B. kann die Position der Vor-Öffnung **20** von einer Brennstoffleitung **22** zur anderen entlang der Brennstoffleitung **22** derart verschoben werden, dass sich diese näher an der Nach-Öffnung **24** oder von dieser weiter entfernt befindet, wodurch das akustische Volumen zwischen der Vor-Öffnung **20** und der Nach-Öffnung **24** verändert wird. In anderen Ausführungsformen können die physikalischen Eigenschaften anderer Komponenten der Brennstoffzufuhrsysteme **18** (z.B. der Nach-Öffnung **24**, der Brennstoffleitung **22**, der Vor-Öffnung **20**, etc.) innerhalb der oder unter den Brennkammern **12** variiert werden. Z.B. können die Dimensionen (z.B. Länge, Weite, Durchmesser, Volumen, etc.) der Brennstoffleitung **22**, die Größe und/oder Gestalt (z.B. Weite, Länge, Durchmesser, effektive Fläche, etc.) der Vor-Öffnung **20** und/oder der Nach-Öffnung **24**, die Muster oder Konfigurationen der Vor-Öffnung **20** oder der Nach-Öffnung **24** (z.B. Löcher, Anordnungen der Löcher, etc.), die Gestalt der Brennstoffleitung **22**, die innere Oberfläche der Brennstoffleitung **22** und dergleichen zwischen einer oder mehreren Brennstoffzufuhrsystemen **18** inner-

halb derselben Brennkammer **12** oder unter verschiedenen Brennkammern **21** variieren.

**[0066]** Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschließlich der besten Ausführungsart, zu offenbaren und auch um jeden Fachmann auf dem Gebiet zu befähigen, die Erfindung in die Praxis umzusetzen, wozu die Schaffung und Verwendung jeglicher Vorrichtungen oder Systeme und die Durchführung jeglicher enthaltener Verfahren gehören. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele enthalten, die Fachleuten auf dem Gebiet einfallen. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzmfang der Ansprüche enthalten sein, wenn sie strukturelle Elemente aufweisen, die sich von dem Wortsinn der Ansprüche nicht unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden gegenüber dem Wortsinn der Ansprüche enthalten.

**[0067]** Die vorliegende Offenbarung betrifft allgemein ein System mit einer Gasturbine. Die Gasturbine enthält eine erste Brennkammer, die einen ersten Brennstoffinjektor aufweist, und eine zweite Brennkammer, die einen zweiten Brennstoffinjektor aufweist. Die Gasturbine enthält ferner eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt. Die erste Brennstoffleitung weist ein erstes akustisches Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass auf. Die Gasturbine enthält ferner eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt. Die zweite Brennstoffleitung weist ein zweites akustisches Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass auf, wobei das erste akustische Volumen und das zweite akustische Volumen sich voneinander unterscheiden.

### Patentansprüche

1. System, das aufweist:  
 eine Gasturbine, die aufweist:  
 eine erste Brennkammer, die einen ersten Brennstoffinjektor aufweist;  
 eine zweite Brennkammer, die einen zweiten Brennstoffinjektor aufweist;  
 eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt, wobei die erste Brennstoffleitung ein erstes akustisches Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass aufweist; und  
 eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt, wobei die zweite Brennstoffleitung ein zweites akustisches Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass aufweist, wobei sich das erste akustische Volumen und das zweite akustische Volumen voneinander unterscheiden.

men zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass aufweist, wobei sich das erste akustische Volumen und das zweite akustische Volumen voneinander unterscheiden.

2. System nach Anspruch 1, wobei die erste Brennkammer eine erste Brennstoffdüse stromaufwärts von dem ersten Brennstoffinjektor aufweist und die zweite Brennkammer eine zweite Brennstoffdüse stromaufwärts von dem zweiten Brennstoffinjektor aufweist.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen einer ersten Geometrie der ersten Öffnung und einer zweiten Geometrie der zweiten Öffnung eine Länge, eine Weite oder eine Höhe der ersten Öffnung oder der zweiten Öffnung aufweist bzw. aufweisen.

4. System nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Öffnung eine erste Öffnung aufweist und die zweite Öffnung eine zweite Öffnung aufweist, wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Öffnung und der zweiten Öffnung eine Kohärenz zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer reduzieren oder die Phase zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer modifizieren; wobei der eine oder die mehreren geometrischen Unterschiede zwischen der ersten Öffnung und der zweiten Öffnung eine Gestalt, eine Dicke, eine Dimension, eine Lochgestalt, eine Lochgröße, eine Lochanzahl oder eine Anordnung mehrerer Löcher aufweisen kann bzw. können.

5. System nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Brennstoffleitung eine erste Leitungsgeometrie aufweist und die zweite Brennstoffleitung eine zweite Leitungsgeometrie aufweist und wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Leitungsgeometrie und der zweiten Leitungsgeometrie die Phase modifiziert bzw. modifizieren und/oder die Kohärenz zwischen der ersten Brennkammer und der zweiten Brennkammer reduziert bzw. reduzieren; wobei der eine oder die mehreren geometrischen Unterschiede zwischen der ersten Leitungsgeometrie und der zweiten Leitungsgeometrie eine Länge, eine Weite, einen Durchmesser, ein akustisches Volumen, eine innere Oberfläche, eine Gestalt oder eine beliebige Kombination von diesen aufweisen kann bzw. können.

6. System, das aufweist:  
 eine erste Brennkammer eines Gasturbinensystems, die aufweist:  
 einen ersten Brennstoffinjektor, der einen ersten Brennstoffauslass aufweist;  
 einen zweiten Brennstoffinjektor, der einen zweiten Brennstoffauslass aufweist;

eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu dem ersten Brennstoffauslass des ersten Brennstoffinjektors erstreckt, wobei die erste Brennstoffleitung eine erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass aufweist und wobei die erste Öffnung eine erste Öffnungsgeometrie aufweist; und

eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu dem zweiten Brennstoffauslass des zweiten Brennstoffinjektors erstreckt, wobei die zweite Brennstoffleitung eine zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass aufweist, wobei die zweite Öffnung eine zweite Öffnungsgeometrie aufweist, wobei sich die erste Leitungsgeometrie und die zweite Leitungsgeometrie voneinander unterscheiden oder sich die erste Öffnungsgeometrie und die zweite Öffnungsgeometrie voneinander unterscheiden oder eine Kombination hiervon.

7. System nach Anspruch 6, wobei ein oder mehrere geometrische Unterschiede zwischen der ersten Öffnungsgeometrie der ersten Öffnung und der zweiten Öffnungsgeometrie der zweiten Öffnung Unterschiede bei einer Gestalt, einer Dicke, einer Lochgestalt, einer Lochgröße, einer Lochanzahl oder einer Anordnung mehrerer Löcher aufweisen; und/oder wobei eine oder mehrere Unterschiede zwischen der ersten Öffnungsgeometrie der ersten Öffnung und der zweiten Öffnungsgeometrie der zweiten Öffnung helfen, eine Wärmefreisetzung zwischen dem ersten Brennstoffinjektor und dem zweiten Brennstoffinjektor zu variieren.

8. System nach Anspruch 6 oder 7, wobei der erste Brennstoffauslass einen ersten Brennstoffauslass mit einer dritten Öffnungsgeometrie aufweist und der zweite Brennstoffauslass einen zweiten Brennstoffauslass mit einer vierten Öffnungsgeometrie aufweist, wobei sich die dritte Öffnungsgeometrie von der vierten Öffnungsgeometrie unterscheidet; und/oder wobei das System zwei oder mehrere Brennkammern aufweist, die jeweils mit einem oder mehreren Brennstoffzufuhrsystemen ausgestattet sind, und wobei jede Brennkammer ein erstes Brennstoffzufuhrsystem mit einem oder mehreren geometrischen Unterschieden im Vergleich zu einem zweiten Brennstoffzufuhrsystem einer anderen Brennkammer aufweist.

9. System nach einem beliebigen der Ansprüche 6–8, wobei die erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass einem ersten akustischen Volumen zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass entspricht und wobei die zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass einem zweiten akustischen Volumen zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass entspricht und wobei das zweite

akustische Volumen sich von dem ersten akustischen Volumen unterscheidet; wobei ein oder mehrere Unterschiede zwischen dem ersten akustischen Volumen und dem zweiten akustischen Volumen helfen können, Verbrennungsdynamikamplituden zwischen dem ersten Brennstoffinjektor und dem zweiten Brennstoffinjektor der ersten Brennkammer zu reduzieren.

#### 10. System, das aufweist:

eine erste Brennstoffleitung, die sich von einer ersten Öffnung zu einem ersten Brennstoffauslass eines ersten Brennstoffinjektors einer Gasturbine erstreckt, wobei die erste Brennstoffleitung eine erste Leitungsgeometrie zwischen der ersten Öffnung und dem ersten Brennstoffauslass aufweist und die erste Öffnung eine erste Öffnungsgeometrie aufweist; und eine zweite Brennstoffleitung, die sich von einer zweiten Öffnung zu einem zweiten Brennstoffauslass eines zweiten Brennstoffinjektors der Gasturbine erstreckt, wobei die zweite Brennstoffleitung eine zweite Leitungsgeometrie zwischen der zweiten Öffnung und dem zweiten Brennstoffauslass aufweist, wobei die zweite Öffnung eine zweite Öffnungsgeometrie aufweist, die sich von der ersten Öffnungsgeometrie unterscheidet, oder die zweite Leitungsgeometrie sich von der ersten Leitungsgeometrie unterscheidet.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

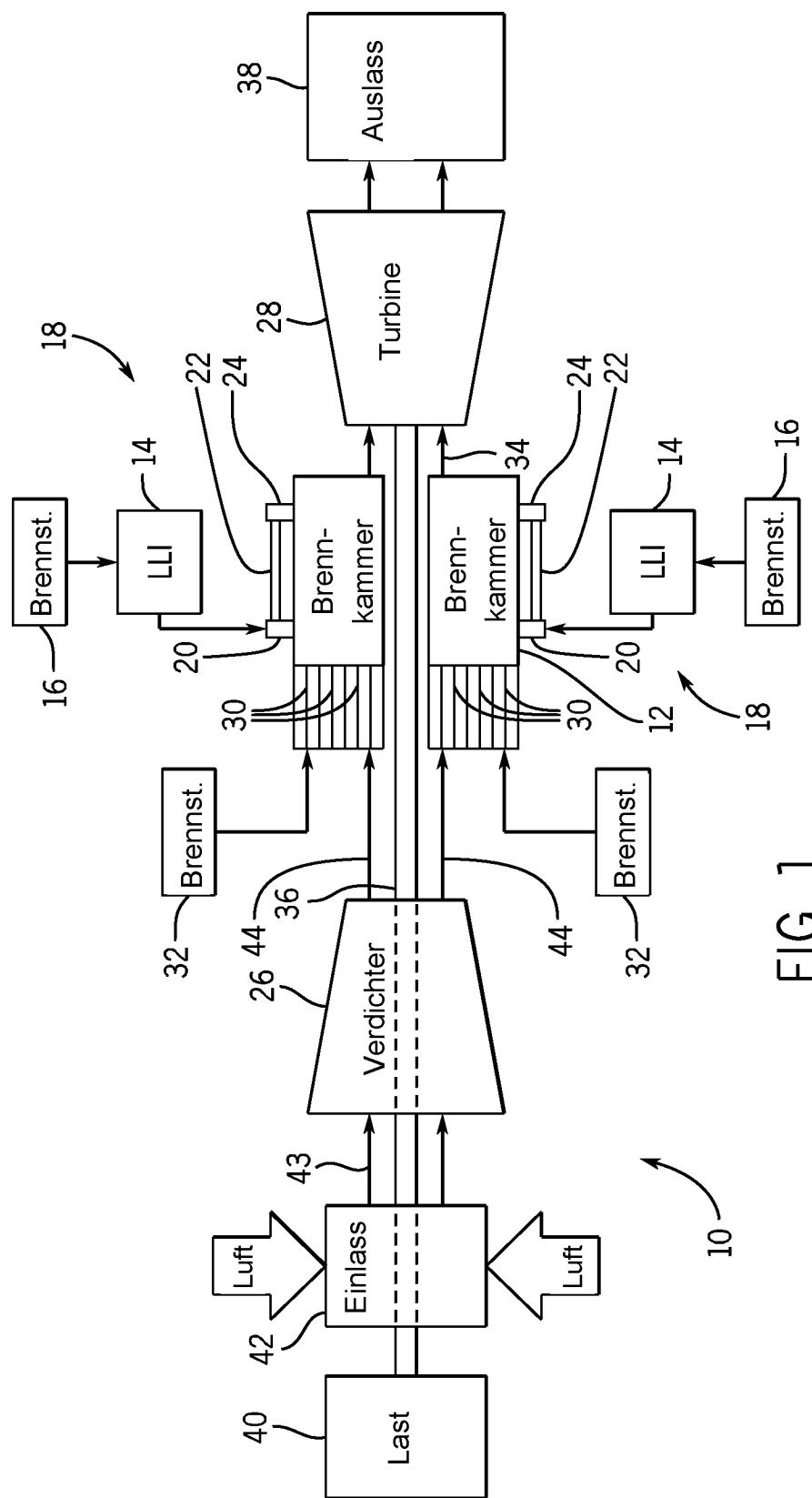


FIG. 1

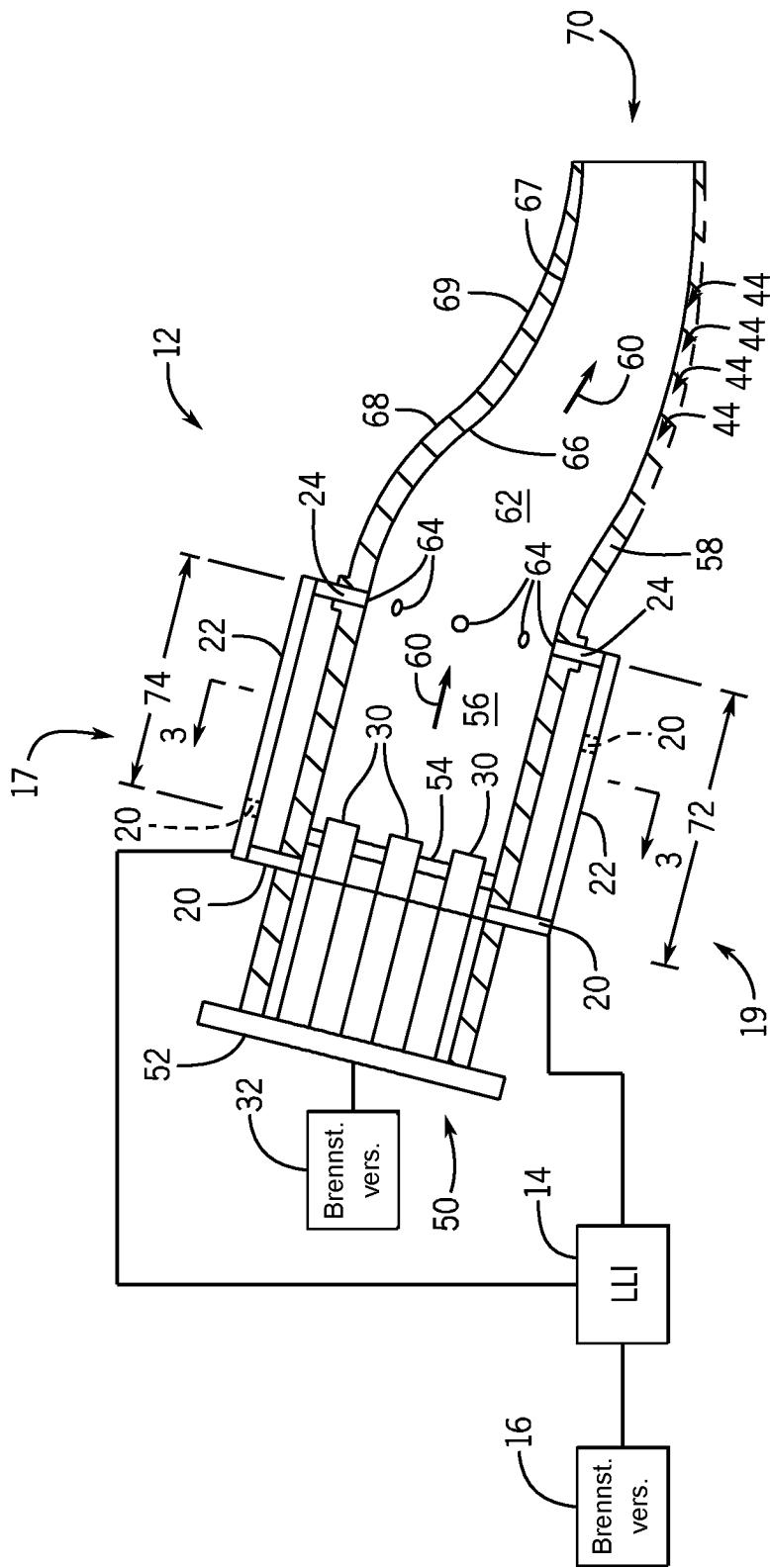


FIG. 2

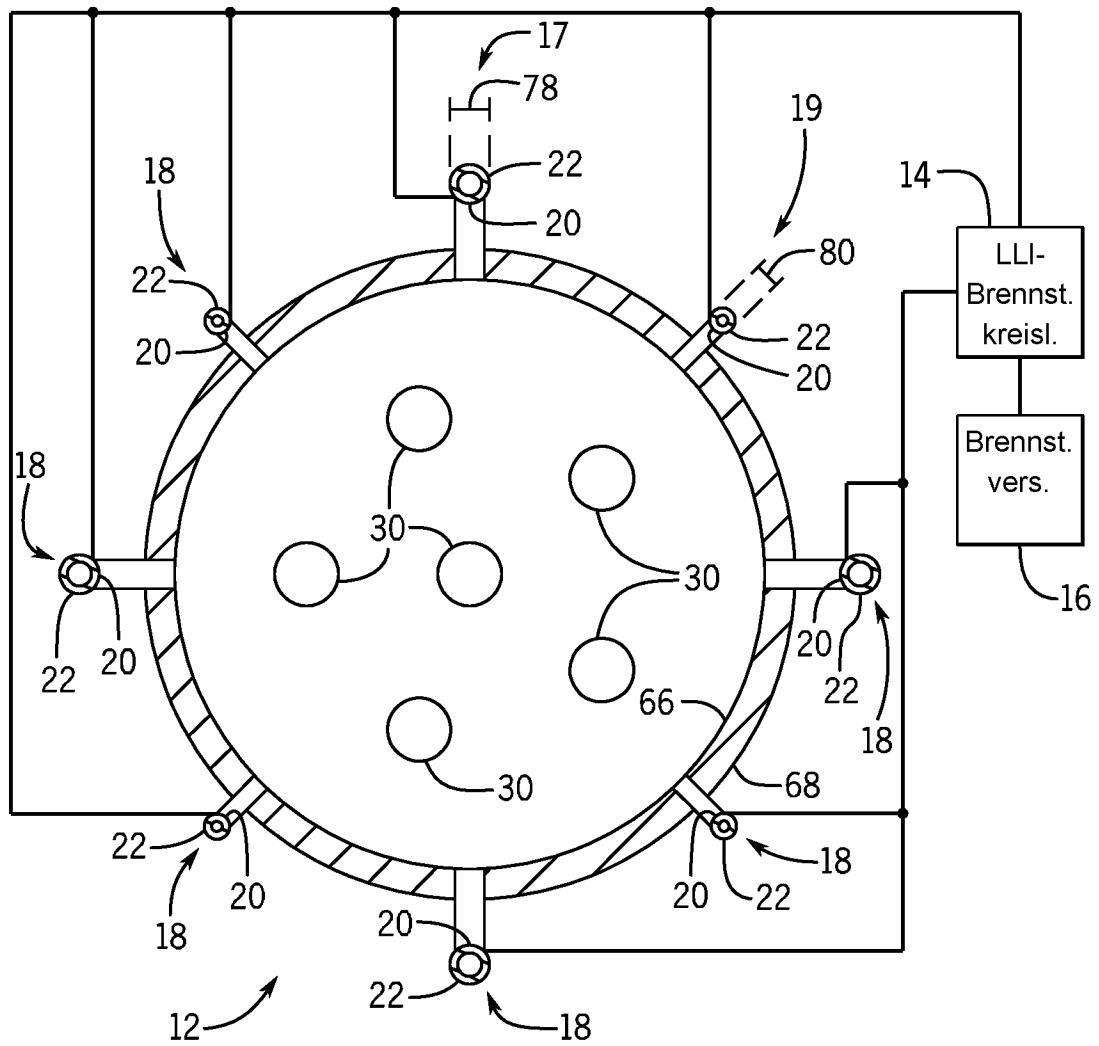


FIG. 3

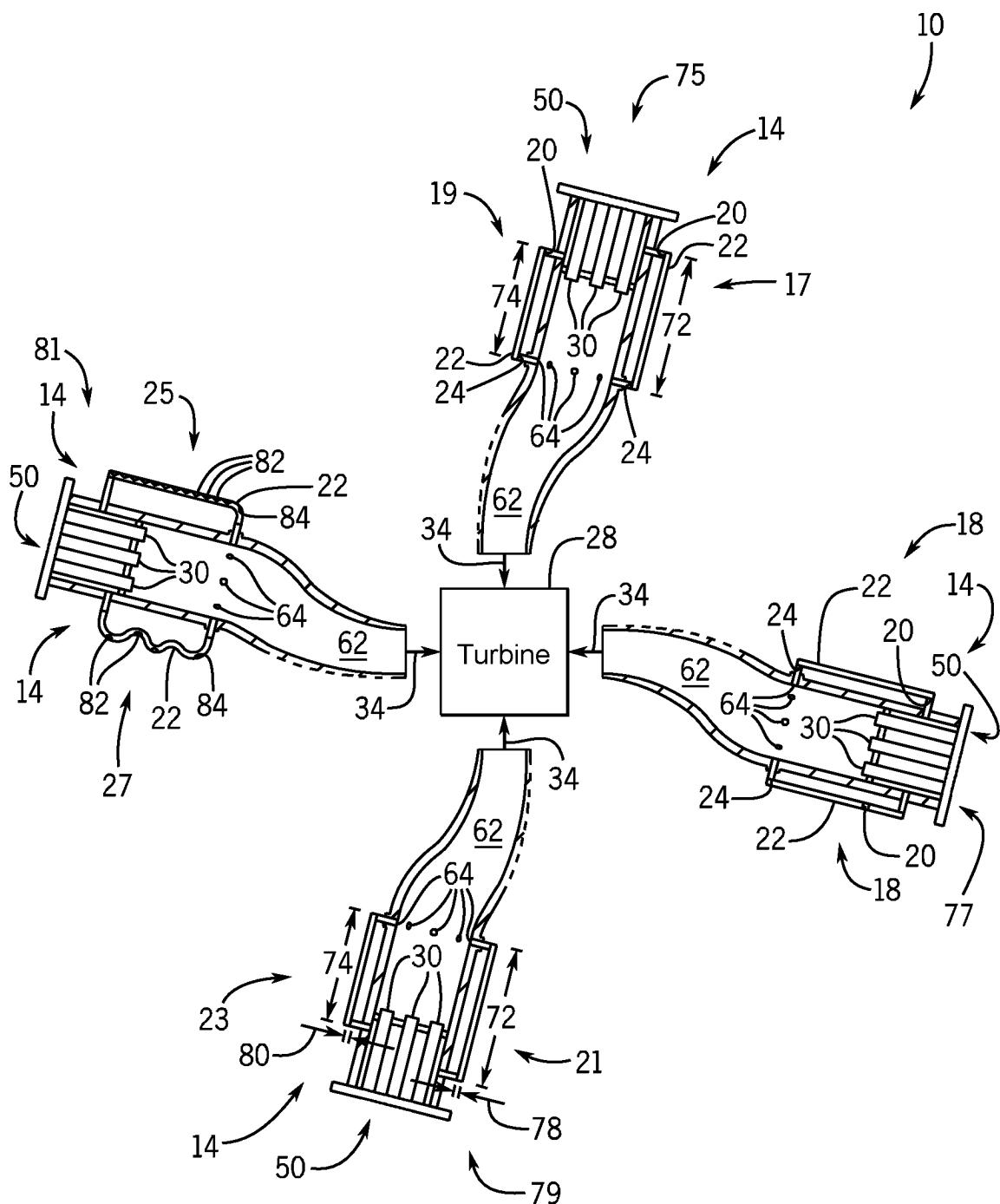


FIG. 4

