



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2013 108 985.2

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

(22) Anmelddatag: 20.08.2013

F23R 3/18 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 27.02.2014

F02C 7/228 (2006.01)

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 23.01.2025

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
13/590,302

21.08.2012 US

(72) Erfinder:
Crothers, Sarah Lori, Greenville, S.C., US;
Kraemer, Gilbert O., Greer, S.C., US

(73) Patentinhaber:
General Electric Technology GmbH, Baden, CH

(56) Ermittelter Stand der Technik:

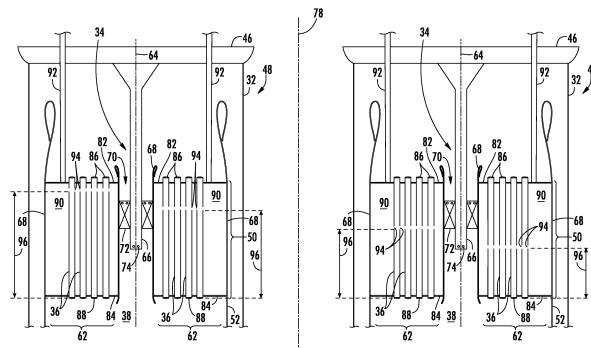
(74) Vertreter:
**Rüger Abel Patent- und Rechtsanwälte, 73728
Esslingen, DE**

DE 198 09 364 A1
DE 10 2009 003 639 A1
DE 10 2011 055 475 A1

(54) Bezeichnung: **Gasturbine mit einem System zur Reduktion von Verbrennungsdynamik**

(57) Hauptanspruch: Gasturbine (10), die aufweist: mehrere Brenner (14), die kreisringförmig um eine axiale Mittellinie der Gasturbine herum angeordnet sind, wobei die mehreren Brenner (14) einen ersten Brenner (14) und einen zweiten Brenner (14) umfassen; wobei der erste Brenner (14) mehrere ringförmige Rohrbündel (58, 62) von Brennstoffdüsen (34), die kreisringförmig um eine Mittellinie des ersten Brenners (14) angeordnet sind, wobei jedes Rohrbündel (58, 62) einen Brennstoffsammelraum (90) und mehrere sich durch diesen erstreckende Rohre (36) enthält, wobei jedes Rohr (36) einen Rohreinlass (86) stromaufwärts von dem Brennstoffsammelraum (90), einen Rohrauslass (88) stromabwärts von dem Brennstoffsammelraum (90) und eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (94) aufweist, die für eine Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffsammelraum (90) und dem Rohr (36) sorgt, wobei die Brennstoffeinspritzeinrichtung (94) in einem ersten axialen Abstand (96) zu dem Rohrauslass (88) angeordnet ist, und jedes Rohr (36) denselben ersten axialen Abstand (96) aufweist; wobei der zweite Brenner (14) mehrere Rohrbündel (58, 62) von Brennstoffdüsen (34) aufweist, die kreisringförmig um eine Mittellinie des zweiten Brenners (14) angeordnet sind, wobei jedes Rohrbündel (58, 62) einen Brennstoffsammelraum (90) und mehrere sich durch diesen erstreckende Rohre (36) aufweist, wobei jedes Rohr (36) einen Rohreinlass (86) stromaufwärts von dem Brennstoffsammelraum (90), einen Rohrauslass (88) stromabwärts von dem Brennstoffsammelraum (90) und eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (84) aufweist, die für eine Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffsammelraum (90) und dem Rohr (36) sorgt, wobei die Brennstoffeinspritzeinrich-

tung (94) in einem ersten axialen Abschnitt (96) von dem Rohrauslass (88) angeordnet ist, wobei jedes Rohr (36) denselben ersten axialen Abstand (96) aufweist; und wobei der erste axiale Abstand (96) eines der mehreren Rohrbündel (58, 62) des ersten Brenners (14) sich von dem ersten axialen Abstand (96) eines der mehreren Rohrbündel (58, 62) des zweiten Brenners (14) unterscheidet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein eine Gasturbine mit einem System zur Reduktion von Verbrennungsdynamik.

[0002] Brenner werden üblicherweise in industriellen und kommerziellen Operationen zum Verbrennen von Brennstoff zur Erzeugung von Verbrennungsgasen mit hoher Temperatur und Druck verwendet. Beispielsweise enthalten Gasturbinen und andere Turbomaschinen typischerweise einen oder mehrere Brenner zum Erzeugen von Strom oder Schub. Eine zum Erzeugen von elektrischem Strom verwendete typische Gasturbine enthält einen Axialverdichter im vorderen, mehrere Brenner im mittigen und eine Turbine im hinteren Bereich. Umgebungsluft tritt in den Verdichter als ein Arbeitsfluid ein und der Verdichter verleiht dem Arbeitsfluid progressiv kinetische Energie, um ein verdichtetes Arbeitsfluid in einem hochenergetischen Zustand zu erzeugen. Das verdichtete Arbeitsfluid verlässt den Verdichter und strömt durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen und/oder Rohre in die Brennkammern, wo sich das verdichtete Arbeitsfluid mit Brennstoff vermischt, bevor es zum Erzeugen von Verbrennungsgasen mit einer hohen Temperatur und Druck verbrannt wird. Die Verbrennungsgase strömen zu der Turbine, wo sie zur Erzeugung von Arbeit expandieren. Beispielsweise kann die Expansion der Verbrennungsgase in der Turbine eine mit einem Generator zum Erzeugen von Elektrizität verbundene Welle zum Drehen bringen.

[0003] Verschiedene Faktoren beeinflussen die Auslegung und den Betrieb der Brenner. Beispielsweise verbessern höhere Verbrennungsgastemperaturen im Allgemeinen den thermodynamischen Wirkungsgrad der Brenner. Jedoch begünstigen höhere Verbrennungsgastemperaturen auch Flammenhaltezustände, in welchen die Verbrennungsflamme zu dem durch die Brennstoffdüsen zugeführten Brennstoff hin wandert und möglicherweise einen beschleunigten Verschleiß an den Brennstoffdüsen in einer relativ kurzen Zeitdauer bewirkt. Zusätzlich erhöhen höhere Verbrennungsgastemperaturen im Allgemeinen die Disassoziationsrate von zweiatomigem Stickstoff, was die Erzeugung von Stickoxiden (NO_x) steigert. Umgekehrt erzeugt eine niedrigere Verbrennungsgastemperatur in Verbindung mit verringertem Brennstoffstrom und/oder Teillastbetrieb (Herunterfahren) im Wesentlichen die chemischen Reaktionsraten der Verbrennungsgase, was die Erzeugung von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen erhöht.

[0004] Obwohl sie für die Ermöglichung höherer Betriebstemperaturen effektiv sind, während sie gleichzeitig gegenüber Flammenhaltung schützen und unerwünschte Emissionen steuern, können

einige Brenner bei speziellen Betriebsbedingungen Verbrennungsinstabilitäten erzeugen, die sich aus einer Wechselwirkung oder Kopplung des Verbrennungsprozesses oder der Flammendynamik mit einer oder mehreren akustischen Resonanzfrequenzen des Brenners ergibt. Beispielsweise kann ein Mechanismus von Verbrennungsinstabilitäten auftreten, wenn akustische Druckpulsationen eine Massenstromfluktuation an einem Brennstoffeinlass bewirken, was dann zu einer Fluktuation des Brennstoff/Luft-Verhältnisses in der Flammenzone führt. Wenn die sich ergebende Fluktuation des Brennstoff/Luft-Verhältnisses und die akustischen Druckpulsationen ein bestimmtes Phasenverhalten haben (z.B. nahezu phasengleich sind), ergibt sich eine selbsterregte Rückkopplungsschleife. Dieser Mechanismus und die daraus resultierende Größe der Verbrennungsdynamik hängt von der Verzögerungszeit zwischen der Einspritzung des Brennstoffes und der Zeit ab, wann er die Flammenzone erreicht, was im Fachgebiet als Konvektionszeit (τ) bekannt ist. Wenn die Konvektionszeit zunimmt, nimmt die Frequenz der Verbrennungsinstabilitäten ab und wenn die Konvektionszeit abnimmt, nimmt die Frequenz der Verbrennungsinstabilitäten zu. Die Folge ist eine Verbrennungsdynamik, die die Nutzungslebensdauer von einem oder mehreren Brennern und/oder von stromabwärts liegender Komponenten verringern kann. Beispielsweise kann die Verbrennungsdynamik Druckimpulse innerhalb der Brennstoffdüsen und/oder der Brennkammern erzeugen, welche die hochzyklische Ermüdungslebensdauer dieser Komponenten, die Stabilität der Verbrennungsflamme, die Auslegungsgrenzwerte der Flammenhaltung und/oder unerwünschte Emissionen nachteilig beeinflussen können. Alternativ oder zusätzlich kann Verbrennungsdynamik bei spezifischen Frequenzen mit ausreichenden Amplituden, die phasengleich und kohärent sind, unerwünschte Mitschwingungen in der Turbine und/oder anderen stromabwärts liegenden Komponenten erzeugen. Durch Verschieben der Frequenz der Verbrennungsinstabilität in einem oder mehreren Brennern gegenüber der von Anderen, wird die Kohärenz des Verbrennungssystems insgesamt reduziert und die Brenner-zu-Brenner-Kopplung wird vermindert. Dieses reduziert die Fähigkeit des Brennertons, eine Schwingungsreaktion in stromabwärts liegenden Komponenten zu bewirken und fördert auch eine destruktive Interferenz von Brenner-zu-Brenner, was die Verbrennungsdynamikamplituden reduziert.

[0005] DE 198 09 364 A1 offenbart Systeme zur Reduktion der Verbrennungsdynamik in einem Brenner, der wenigstens eine erste und eine zweite Brennstoffdüse umfasst, die jeweils einen Mittenkörper und ein den Mittenkörper umgebendes Vormischrohr aufweisen, die zwischeneinander einen Vormischkanal definieren. In einer Ausführungsform sind Brennstoffinjektionsblenden zur Einspritzung

von Brennstoff in dem Vormischkanal angeordnet, wobei zur Entkopplung der Verbrennungsdynamik die Brennstoffinjektionsblenden in der ersten und der zweiten Brennstoffdüse an unterschiedlichen axialen Positionen und somit in unterschiedlichen axialen Abständen zu der Brennkammer angeordnet sind.

[0006] DE 10 2009 003 639 A1 offenbart einen Brenner mit mehreren Brennstoffdüsen oder Vormischrohren, die in ihrem Innern Vormischeinrichtungen mit Brennstoffinjektoren und Verwirblerschaufeln aufweisen, wobei zur Verminderung der Verbrennungsdynamik die Brennstoffinjektoren und/oder die Verwirblerschaufeln in verschiedenen Brennstoffdüsen oder Vormischrohren an axial zueinander versetzten Positionen angeordnet sind.

[0007] DE 10 2011 055 475 A1 offenbart einen Brenner mit mehreren Brennstoffdüsen, zu denen eine zentrale Brennstoffdüse und mehrere äußere Brennstoffdüsen gehören, die kreisringförmig um die zentrale Brennstoffdüse herum angeordnet sind. Jede Brennstoffdüse umfasst ein Rohrbündel mit mehreren Vormischrohren zur Vorvermischung von Luft und Brennstoff. Die Brennstoffinjektoren aller Vormischrohre aller Brennstoffdüsen sind in demselben Abstand zu den Auslässen der Vormischrohre angeordnet. Zur Minderung der Verbrennungsdynamik sind wenigstens zwei benachbarte Brennstoffdüsen des Brenners abgestuft angeordnet, so dass ihre in Strömungsrichtung hinten liegenden Endabschnitte axial zueinander versetzt sind.

[0008] Es besteht weiterhin ein Bedarf nach einem verbesserten System, das die Phase und/oder Kohärenz der durch jeden Brenner erzeugten Verbrennungsdynamik anpasst, zur Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrades der Brenner, für den Schutz vor beschleunigtem Verschleiß, die Begünstigung der Flammenstabilität und/oder die Reduzierung unerwünschter Emissionen über einen weiten Bereich von Betriebspegeln.

[0009] Um diesen Bedarf zu decken ist gemäß der Erfindung eine Gasturbine mit einem System zur Reduktion von Verbrennungsdynamik, die die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 aufweist. Besonders bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

[0010] Eine vollständige und grundlegende Beschreibung der vorliegenden Erfindung einschließlich ihrer besten Ausführungsart für den Fachmann, wird nachstehend in dem Rest der Patentschrift unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in welchen:

Fig. 1 eine vereinfachte Seitenquerschnittsansicht einer exemplarischen Gasturbine nach

dem Stand der Technik, in der die vorliegende Erfindung verwendet werden kann;

Fig. 2 eine vereinfachte Seitenquerschnittsansicht eines exemplarischen Brenners gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 3 eine Stromaufwärts-Draufsicht auf die in **Fig. 2** dargestellte Kappenanordnung gemäß einer Ausführungsform ist, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört;

Fig. 4 eine Stromaufwärts-Draufsicht auf die in **Fig. 2** dargestellte Kappenanordnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 5 eine Stromaufwärts-Draufsicht auf die in **Fig. 2** dargestellte Kappenanordnung gemäß einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 6 eine Seitenquerschnittsansicht des Kopfendes des in **Fig. 3** dargestellten Brenners entlang der Linie A-A gemäß einer Ausführungsform ist, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört;

Fig. 7 ein System zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik gemäß einer Ausführungsform ist, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört;

Fig. 8 ein System zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik gemäß einer weiteren Ausführungsform ist, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört;

Fig. 9 eine Seitenquerschnittsansicht des Kopfendes des in **Fig. 5** dargestellten Brenners entlang der Linie B-B gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 10 ein System zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

Fig. 11 ein System zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik gemäß einer Ausführungsform ist, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört; und

Fig. 12 ein exemplarischer Graph einer Brennerdynamik gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist.

[0011] Es wird nun im Detail auf Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, wovon ein oder mehrere Beispiele in den Zeichnungen dargestellt sind. Die detaillierte Beschreibung verwendet Zahlen- und Buchstabenbezeichnungen, um sich auf Merkmale in den Zeichnungen zu beziehen. Gleiche oder ähnliche Bezeichnungen in den Zeichnungen oder in der Beschreibung wurden verwendet, um

gleiche oder ähnliche Teile der Erfindung zu bezeichnen. So wie hierin verwendet, können die Begriffe „erst.“, „zweit...“ und „dritt.“ austauschbar verwendet werden, um eine Komponente von einer anderen zu unterscheiden, und sollen keine Lage oder Bedeutung der individuellen Komponenten anzeigen. Zusätzlich beziehen sich die Begriffe „stromaufwärts“ und „stromabwärts“ auf die relative Lage von Komponenten in einem Fluidstrompfad. Beispielsweise befindet sich die Komponente A stromaufwärts von der Komponente B, wenn ein Fluid von der Komponente A zu der Komponente B strömt. Umgekehrt befindet sich die Komponente B stromabwärts von der Komponente A, wenn die Komponente B einen Fluidstrom von der Komponente A empfängt.

[0012] Jedes Beispiel wird im Rahmen einer Erläuterung der Erfindung und nicht einer Einschränkung der Erfindung gegeben. Tatsächlich wird es für den Fachmann ersichtlich sein, dass verschiedene Modifikationen und Varianten in der vorliegenden Erfindung ohne Abweichung von dem Schutzmfang oder Erfindungsgedanken der Erfindung vorgenommen werden können. Beispielsweise können als Teil einer Ausführungsform dargestellte oder beschriebene Merkmale mit einer anderen Ausführungsform verwendet werden, um noch eine weitere Ausführungsform der Erfindung zu ergeben. Somit soll die vorliegende Erfindung derartige Modifikationen und Varianten beinhalten, soweit sie in den Schutzmfang der beigefügten Ansprüche und deren Äquivalente fallen.

[0013] Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beinhalten ein System und ein Verfahren zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik, um den thermodynamischen Wirkungsgrad zu verbessern, die Flammenstabilität zu fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen weiten Bereich von Betriebszuständen zu reduzieren. Das System und Verfahren beinhalten im Wesentlichen mehrere Brenner, und jeder Brenner enthält eine oder mehrere Brennstoffdüsen und/oder Rohre und eine Brennkammer stromabwärts von der(n) Brennstoffdüse(n) und/oder Rohren. Jede Brennstoffdüse enthält einen oder mehrere Brennstofffeinlässe und/oder sich radial erstreckende Leitelemente, und jedes Rohr enthält eine oder mehrere Brennstofffeinspritzeinrichtungen. Das System und Verfahren beinhalten verschiedene Einrichtungen zum Erzeugen einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem ersten Brenner, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem zweiten Brenner unterscheidet. Demzufolge können verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zu erweiterten Betriebsbedingungen, verlängerter(n) Nutzungsdauer und/oder Wartungsintervallen, verbesserten Auslegungsabständen der Flammenhaltung und/oder reduzierten unerwünschten Emissionen führen. Obwohl exemplarische Ausführungsformen der vor-

liegenden Erfindung im Wesentlichen im Zusammenhang mit Verbrennungsdynamik in einer Gasturbine für Zwecke der Veranschaulichung beschrieben werden, wird der Fachmann leicht erkennen, dass Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auf jede Verbrennungsdynamik angewendet werden können, und auf keine Gasturbine beschränkt sind, soweit es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0014] **Fig. 1** stellt eine vereinfachte Querschnittsansicht einer exemplarischen Gasturbine 10 bereit, die verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthalten kann. Gemäß Darstellung kann die Gasturbine 10 im Wesentlichen einen Verdichterabschnitt 12 im vorderen, mehrere Brenner 14, die radial in einem Verbrennungsabschnitt um die Mitte herum angeordnet sind und einen Turbinenabschnitt 16 in dem hinteren Bereich enthalten. Der Verdichterabschnitt 12 und der Turbinenabschnitt 16 können sich einen gemeinsamen Rotor 18 teilen, der mit einem Generator 20 zum Erzeugen von Elektrizität verbunden ist. Ein Arbeitsfluid 22, wie z.B. Umgebungsluft, kann in den Verdichterabschnitt 12 eintreten und die abwechselnden Stufen stationärer Leitschaufeln 24 und rotierender Laufschaufeln 26 passieren. Ein Verdichtergehäuse 28 enthält das Arbeitsfluid 22, während die stationären Leitschaufeln 24 und rotierenden Laufschaufeln 26 das Arbeitsfluid 22 beschleunigen und umlenken, um einen ständigen Strom von verdichtetem Arbeitsfluid 22 zu erzeugen. Der Großteil des verdichteten Arbeitsfluids 22 strömt durch einen Verdichterauslasssammelraum 30 zu den Brennern 14. Ein Brennergehäuse 32 kann in Umfangsrichtung einige oder alle Brenner 14 umgeben, um das aus dem Verdichterabschnitt strömende Arbeitsfluid 22 aufzunehmen. Brennstoff kann mit dem verdichteten Arbeitsfluid 22 in einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohren 36 vermischt werden. Mögliche Brennstoffe beinhalten beispielsweise einen oder mehrere von Hochfengas, Koksofengas, Erdgas, verdampftes Flüssigerdgas (LNG), Wasserstoff und Propan. Das Gemisch aus Brennstoff und verdichtetem Arbeitsfluid 22 kann dann in eine Brennkammer 38 strömen, wo es verbrennt, um Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und Druck zu erzeugen. Ein Übergangskanal 40 umgibt in Umfangsrichtung wenigstens einen Abschnitt der Brennkammer 38 und die Verbrennungsgase strömen durch den Übergangskanal 40 zu dem Turbinenabschnitt 16.

[0015] 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 Laufschaufeln 44 und die Verbrennungsgase expandieren, während sie die rotierenden Laufschaufeln 44 passieren und die rotierenden Laufschaufeln 44 und den Rotor 18 zum Rotieren bringen. Die Verbrennungsgase strö-

men dann zu der nächsten Stufe stationärer Leitapparate 42, welche die Verbrennungsgase auf die nächste Stufe rotierender Laufschaufeln 44 lenken und dieser Prozess wiederholt sich in den nachfolgenden Stufen.

[0016] Die Brenner 14 können jede Art von im Fachgebiet bekannten Brennern sein und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Brennerkonstruktion beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist. **Fig. 2** stellt eine vereinfachte Seitenquerschnittsansicht eines exemplarischen Brenners 14 gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bereit. Das Brennergehäuse 32 umgibt in Umfangsrichtung wenigstens einen Teil des Brenners 14, um das aus dem Verdichter 12 strömende verdichtete Arbeitsfluid 22 aufzunehmen. Gemäß Darstellung in **Fig. 2** kann das Brennergehäuse 32 mit einer Endabdeckung 46 verbunden sein oder diese enthalten, die sich radial über wenigstens einen Teil jedes Brenners 14 erstreckt, um eine Schnittstelle zur Zuführung von Brennstoff, Verdünnungsmittel und/oder anderen Zusätzen zu jedem Brenner 14 bereitzustellen. Zusätzlich können das Brennergehäuse 32 und die Endabdeckung 46 kombiniert sein, um wenigstens teilweise ein Kopfende 48 innerhalb jedes Brenners 14 zu definieren. Die Brennstoffleitapparate 34 und/oder Rohre 36 können radial in einer Kappenanordnung 50 angeordnet sein, die sich radial über wenigstens einen Abschnitt jedes Brenners 14 stromabwärts von dem Kopfende 48 erstreckt. Ein Einsatz 52 kann mit der Kappenanordnung 50 verbunden sein, um wenigstens teilweise die Brennkammer 38 stromabwärts von der Kappenanordnung 50 zu definieren. Auf diese Weise kann das Arbeitsfluid 22 beispielsweise durch Durchflusslöcher 54 in einer Prallhülse 56 und entlang der Außenseite des Übergangskanals 40 und des Einsatzes 52 strömen, um eine Konvektionskühlung für das Übergangsstück 40 und den Einsatz 52 bereitzustellen. Wenn das Arbeitsfluid 22 das Kopfende 48 erreicht, kehrt das Arbeitsfluid 22 seine Richtung um und die Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 stellen eine Fluidverbindung für das Arbeitsfluid 22 bereit, um es durch die Kappenanordnung 50 hindurch und in die Brennkammer 38 strömen zu lassen.

[0017] Obwohl er im Wesentlichen als zylindrisch dargestellt ist, kann der radiale Querschnitt der Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 jede geometrische Form haben und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei speziellen radialem Querschnitt beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist. Zusätzlich können verschiedene Ausführungsformen des Brenners 14 unterschiedliche Anzahlen und Anordnungen von Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohren 36 in der Kappenanordnung 50 enthalten, und die **Fig. 4-5** stellen Stromaufwärts-Draufsichtsansichten exemplarischer

Anordnungen der Brennstoffdüsen 34 und/oder Rohre 36 in der Kappenanordnung 50 innerhalb des Schutzmangels der vorliegenden Erfindung dar. Gemäß Darstellung in **Fig. 3**, die eine Ausführungsform zeigt, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört, können beispielsweise mehrere Brennstoffdüsen 34 radial um nur eine Brennstoffdüse 34 herum angeordnet sein. Alternativ können, wie in **Fig. 4** dargestellt, die Rohre 36 radial über die gesamte Kappenanordnung 50 hinweg angeordnet sein, und die Rohre 36 können in verschiedene Gruppen unterteilt sein, um mehrere Brennstoffversorgungsbereiche über den Betriebsbereichen des Brenners 14 zu ermöglichen. Beispielsweise können die Rohre 36 in mehrere ringförmige Rohrbündel 58 gruppiert sein, die in Umfangsrichtung ein mittiges Rohrbündel 60 gemäß Darstellung in **Fig. 4** umgeben. Alternativ können, wie es in **Fig. 5** dargestellt ist, mehrere tortenstückförmige Rohrbündel 62 in Umfangsrichtung nur eine Brennstoffdüse 34 umgeben. Während Grundlastoperationen kann Brennstoff jeder Brennstoffdüse 34 und jedem in den **Fig. 3-5** dargestellten Rohrbündel 58, 60, 62, Brennstoff zugeführt werden, wobei der Brennstoffstrom von der mittigen Brennstoffdüse 34 oder dem mittigen Rohrbündel 60 und/oder einem oder mehreren in Umfangsrichtung angeordneten Brennstoffdüsen 34 oder ringförmigen oder tortenstückförmigen Rohrbündeln 58, 62 während reduzierten oder Herunterfahrbetriebs reduziert oder vollständig weggenommen werden können. Der Fachmann wird leicht mehrere weitere Formen und Anordnungen für die Brennstoffdüsen 34, Rohre 36 und Rohrbündel 58, 60, 62 aus den Lehren hierin erkennen und die spezielle Form und Anordnung der Brennstoffdüsen 34, Rohre 36 und der Rohrbündel 58, 60, 62 sind keine Einschränkungen der vorliegenden Erfindung, soweit es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0018] **Fig. 6** stellt eine Seitenquerschnittsansicht des Kopfendes 48 des in **Fig. 3** dargestellten Brenners 14 entlang der Linie A-A gemäß einer Ausführungsform bereit, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört. Gemäß Darstellung in den **Fig. 3** und **6** kann der Brenner 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 enthalten, die radial um eine mittige Brennstoffdüse 34 angeordnet sind, die im Wesentlichen zu einer axialen Mittellinie 64 des Brenners 14 ausgerichtet ist. Jede Brennstoffdüse 34 kann einen Mittenkörper 66 enthalten, der sich axial stromabwärts von der Endabdeckung 46 und einer Abdeckung 68 erstreckt, die in Umfangsrichtung wenigstens einen Abschnitt des Mittenkörpers 66 umgibt, um einen ringförmigen Durchtritt 70 zwischen dem Mittenkörper 66 und der Abdeckung 68 zu definieren. Ein oder mehrere Leitelemente 72 können sich radial zwischen dem Mittenkörper 66 und der Abdeckung 68 erstrecken, und die Leitelemente 72 können in einem Winkel angeordnet oder gekrümmmt sein, um dem Arbeitsfluid 22, das durch

den ringförmigen Durchtritt 70 zwischen dem Mittenkörper 66 und der Abdeckung 68 strömt, einen Drall zu verleihen. Die Leitelemente 72 und/oder der Mittenkörper 66 können einen oder mehrere Brennstoffeinlässe 74 enthalten. Auf diese Weise kann dem Mittenkörper 66 und/oder den Leitelementen 72 Brennstoff zugeführt werden, und die Brennstoffeinlässe 74 stellen eine Fluidverbindung für den Brennstoff bereit, um ihn in den ringförmigen Durchtritt 70 strömen zu lassen und ihn mit dem Arbeitsfluid 22 zu vermischen, bevor das Gemisch die Brennkammer 38 erreicht.

[0019] Wenn die Brennstoffdüsen 34 in den Brenner 14 eingebaut sind, wie z.B. bei dem in **Fig. 2** dargestellten exemplarischen Brenner 14, kann der sich daraus ergebende Verbrennungsprozess in der Brennkammer 38 Wärmefreisetzungsschwankungen erzeugen, die wiederum mit einem oder mehreren akustischen Modi des Brenners 14 unter Erzeugung von Verbrennungsinstabilitäten eine Kopplung eingehen. Ein spezifischer Mechanismus, der Verbrennungsinstabilitäten erzeugen kann, tritt auf, wenn die durch Wärmefreisetzungsschwankungen angeregten akustischen Pulsationen Massenstromschwankungen durch die Brennstoffeinlässe 74 bewirken. Beispielsweise können sich die den Verbrennungsflammen zugeordneten Druckimpulse stromaufwärts von der Brennkammer 38 in jeden ringförmigen Durchtritt 70 ausbreiten. Sobald die Druckimpulse die Brennstoffeinlässe 74 und/oder Leitelemente 72 erreichen, können die Druckimpulse mit dem Brennstoffstrom durch die Brennstoffeinlässe 74 und/oder über die Leitelemente 72 interferieren, was Fluktuationen in der Brennstoff/Luft-Gemischkonzentration erzeugt, die stromabwärts in Richtung der Verbrennungsflamme strömen. Diese Fluktuationen des Brennstoff/Luft-Verhältnisses wandern dann stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungssfluktuation bewirken. Vorausgesetzt, dass die Wärmefreisetzungssfluktuation angenähert mit den Druckfluktuationen phasengleich ist, fördert sie noch weitere Wärmefreisetzungssfluktuationen, was eine kontinuierliche Rückkopplungsschleife erzeugt. Umgekehrt verringert, wenn die sich ergebende Wärmefreisetzungssfluktuation und die Druckfluktuationen phasenverschoben sind, eine destruktive Interferenz, die Größe der der speziellen Brennstoffdüse 34 zugeordneten Verbrennungsinstabilitätsfrequenz. Die den Brennstoffdüsen 34 zugeordnete Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen können wiederum einander konstruktiv oder destruktiv überlagern, um die Amplitude der Verbrennungs dynamik in Verbindung mit dem speziellen Brenner 14 zu vergrößern oder zu verkleinern.

[0020] Die sich ergebende Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen sind eine Funktion der Zeit, die der akustische Druckimpuls benötigt, um den Brennstoff-

einlass zu erreichen und dann der sich daraus ergebenden Brennstoff/Luft-Verhältnissstörung, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist im Fachgebiet als Konvektionszeit oder τ bekannt. Die durch die Wechselwirkung der Fluktuationen des Brennstoff/Luft-Verhältnisse und der akustischen Druckfluktuation erzeugten Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 (d.h., dem Ende der Brennstoffdüsen 34 oder dem Ende der Abdeckungen 68). In speziellen Ausführungsformen können diese Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen angepasst und/oder in einer oder mehreren Brennstoffdüsen 34 abgestimmt werden, um die dem individuellen Brenner 14 zugeordnete Verbrennungsdynamik zu beeinflussen. In der in **Fig. 3** und 6 dargestellten speziellen Ausführungsform kann beispielsweise der Brenner 16 mehrere Brennstoffdüsen 34 mit einem unterschiedlichen axialen Abstand 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 für jede Brennstoffdüse 34 enthalten. Demzufolge wird die für jede Brennstoffdüse 34 erzeugte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz leicht unterschiedlich, was eine konstruktive Interferenz zwischen den Brennstoffdüsen 34 reduziert oder ausschließt, die eine Amplitude der Verbrennungsdynamik in Verbindung mit dem speziellen Brenner 14 vergrößert. Der Fachmann wird leicht aus den Lehren hierin erkennen, dass mehrere Kombinationen von Variationen in den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz für jede Brennstoffdüse 74 und/oder gewünschte Verbrennungsdynamik für den speziellen Brenner zu erreichen. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen die axialen Abstände 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 für einige oder alle Brennstoffdüsen 34 in einem speziellen Brenner 34 dieselben oder unterschiedlich sein, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0021] Die mehreren in die Gasturbine 10 eingebauten Brennern zugeordnete Verbrennungsdynamik kann entweder konstruktiv oder destruktiv miteinander zum Erhöhen oder Verringern der Amplitude und/oder Kohärenz der der Gasturbine 10 zugeordneten Verbrennungsdynamik interferieren. In speziellen Ausführungsformen können die Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen und/oder die Verbrennungsdynamik in Verbindung mit einem oder mehreren Brennern 14 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsdynamik eines anderen Brenners

14 und somit die der Gasturbine 10 zugeordnete Verbrennungsdynamik zu beeinflussen. Beispielsweise stellt **Fig. 7** ein System zum Reduzieren der Verbrennungsdynamik und/oder Kohärenz der Verbrennungsdynamik gemäß einer ersten Ausführungsform bereit, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört. In der in **Fig. 7** dargestellten speziellen Ausführungsform wurden mehrere Brenner 14 gemäß Darstellung in **Fig. 3** und 6 um eine Achse 78 herum angeordnet. Die Achse 78 kann beispielsweise mit dem Rotor 18 in der Gasturbine 10 zusammenfallen, die den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbindet, obwohl die vorliegende Erfindung nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 78 oder die spezielle Anordnung der Brenner 14 um die Achse 78 beschränkt ist.

[0022] Gemäß Darstellung in **Fig. 7** enthält jeder Brenner 14 mehrere Brennstoffdüsen 34 mit der Brennkammer 38 stromabwärts von den Brennstoffdüsen 34 wie vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 2, 3 und 6** beschrieben. Zusätzlich enthält das System ferner Einrichtungen zum Erzeugen einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Die Funktion der Erzeugung einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet, reduziert oder verhindert eine kohärente oder konstruktive Interferenz zwischen den Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen, die die Amplitude der Verbrennungsdynamik vergrößern oder die Kohärenz der Verbrennungsdynamik von zwei oder mehr Brennern 14 vergrößern könnten. Der Aufbau für die Einrichtung kann einen Unterschied in einem oder mehreren von den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 zwischen den zwei Brennern 14 beinhalten. In der in **Fig. 7** dargestellten speziellen Ausführungsform ist beispielsweise jeder axiale Abstand 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und zwischen den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 zwischen den zwei Brennern 14 unterschiedlich. Demzufolge erzeugt die Einrichtung unterschiedliche Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen in den zwei Brennern 14. Der Fachmann wird leicht aus den Lehren hierin erkennen, dass mehrere Kombinationen von Varianten in den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen einer oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer

38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 für eine oder mehrere von den Brennstoffdüsen 34 in einem speziellen Brenner 14 dieselben oder unterschiedlich im Vergleich zu dem anderen Brenner 14 sein, solange die axialen Abstände 76 nicht alle dieselben zwischen beiden Brennern 14 sind, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, soweit es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0023] **Fig. 8** stellt ein System zum Reduzieren der Verbrennungsdynamik gemäß einer weiteren Ausführungsform dar, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört. Gemäß Darstellung in **Fig. 8** enthält jeder Brenner 14 wiederum mehrere Brennstoffdüsen 34 mit der Brennkammer 38 stromabwärts von den Brennstoffdüsen 34 wie vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 2, 3, 6 und 7** beschrieben. Zusätzlich können die axialen Positionen der Brennstoffeinlässe 74 und/oder der Leitelemente 72 dieselben oder unterschiedliche in jedem Brenner 14 sein. In der in **Fig. 8** dargestellten spezifischen Ausführungsform sind beispielsweise die axialen Positionen der Brennstoffeinlässe 74 und der Leitelemente 72 in demselben Brenner 14 unterschiedlich, aber die axialen Positionen der Brennstoffeinlässe 74 und der Leitelemente 72 werden in beiden Brennern 14 wiederholt.

[0024] Die in **Fig. 8** dargestellte Ausführungsform enthält wiederum eine Einrichtung zum Erzeugen einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. In dieser speziellen Ausführungsform kann der Aufbau für die Einrichtung einen Unterschied in einer axialen Länge 40 der Kappenanordnung 50 in einem Brenner 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in dem anderen Brenner 14 beinhalten. Mit den in beiden Brennern 14 wiederholten axialen Positionen der Brennstoffeinlässe 74 und der Leitelemente 72 erzeugt der Unterschied in den axialen Längen 80 zwischen den zwei Brennern 14 einen entsprechenden Unterschied in den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 zwischen den zwei Brennern 14. Der Unterschied in den axialen Abständen 76 zwischen den zwei Brennern 14 erzeugt einen entsprechenden Unterschied in den Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen zwischen den zwei Brennern 14. Ein Fachmann wird aus den Lehren hierin leicht erkennen, dass mehrere Kombinationen von Varianten in den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen einer oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer

täts- oder Resonanzfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 dieselben oder unterschiedliche für eine oder mehrere von den Brennstoffdüsen 34 in einem speziellen Brenner 14 im Vergleich zu dem anderen Brenner 14 sein, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0025] **Fig. 9** stellt eine Seitenquerschnittsansicht des Kopfendes 48 des in **Fig. 5** dargestellten Brenners entlang der Linie B-B gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. Gemäß Darstellung erstreckt sich die Kappenanordnung 50 radial über wenigstens einen Teil des Brenners 14 und enthält eine stromaufwärts befindliche Oberfläche 82, die axial von einer stromabwärts befindlichen Oberfläche 84 getrennt ist. Die stromaufwärts und stromabwärts befindlichen Oberflächen 82, 84 können im Wesentlichen eben oder gerade und rechtwinklig zu dem allgemeinen Strom des Arbeitsfluids 22 durch die Kappenanordnung 50 ausgerichtet sein. In der in **Fig. 9** dargestellten speziellen Ausführungsform ist die Brennstoffdüse 34 wiederum im Wesentlichen zu der axialen Mittellinie 84 der Kappenanordnung 50 ausgerichtet und erstreckt sich durch die Kappenanordnung 50, um eine Fluidverbindung durch die Kappenanordnung 50 hindurch zu der Brennkammer 38 bereitzustellen. Die Brennstoffdüse 34 kann jede beliebige dem Fachmann bekannte geeignete Struktur zum Mischen von Brennstoff mit dem Arbeitsfluid 22 vor dem Eintritt in die Brennkammer 38 enthalten, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Struktur oder Auslegung beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist. Beispielsweise kann, wie es in **Fig. 9** dargestellt ist, die Brennstoffdüse 34 einen Mittenkörper 66, ein Abdeckung 68, einen ringförmigen Durchtritt 70, Leitelemente 72 und Brennstoffeinlassen 74, wie vorstehend unter Bezugnahme auf die in **Fig. 6** dargestellte Ausführungsform beschrieben, enthalten.

[0026] Gemäß Darstellung in den **Fig. 5** und 9 können die Rohre 36 in Umfangsrichtung um die Brennstoffdüse 34 in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sein und können sich von der stromaufwärts befindlichen Oberfläche 82 aus durch die stromabwärts befindliche Oberfläche 84 der Kappenanordnung 50 hindurch erstrecken. Jedes Rohr 36 enthält im Wesentlichen einen Einlass 86 in der Nähe zu der stromaufwärts befindlichen Oberfläche 82 und einen Auslass 88 in der Nähe zu der stromabwärts befindlichen Oberfläche 84, um eine Fluid-

verbindung durch die Kappenanordnung 50 hindurch und in die Brennkammer 38 stromabwärts von den Rohren 36 bereitzustellen.

[0027] Gemäß Darstellung in **Fig. 9** können die stromaufwärts und stromabwärts befindlichen Oberflächen 82, 84 wenigstens teilweise einen Brennstoffsammelraum 90 innerhalb der Kappenanordnung 50 definieren. Eine Brennstoffleitung 92 kann sich von dem Gehäuse 32 aus und/oder der Endabdeckung 46 aus durch die stromaufwärts liegende Oberfläche 82 hindurch erstrecken, um eine Fluidverbindung für den Fluss von Brennstoff in dem Brennstoffsammelraum 90 erstrecken. Eines oder mehrere von den Rohren 36 können eine Brennstoffeinspritzeinrichtung 94 enthalten, die sich durch die Rohre 36 hindurch erstreckt, um eine Fluidverbindung aus dem Brennstoffsammelraum 90 in die Rohre 36 bereitzustellen. Die Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 können radial, axial und/oder azimutal in einem Winkel angeordnet sein, um hervorzustehen und/oder den durch die Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und in die Rohre 36 strömenden Brennstoff einen Drall zu verleihen. Das Arbeitsfluid 22 kann somit in die Rohreinlässe 86 strömen und Brennstoff aus der Brennstoffleitung 92 kann um die Rohre 36 in den Brennstoffsammelraum 90 strömen, um eine Konvektionskühlung an den Rohren 36 bereitzustellen, bevor er durch die Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 hindurch und in die Rohre 36 strömt, um sich mit dem Arbeitsfluid 22 zu vermischen. Das Brennstoffarbeitsfluidgemisch kann dann durch die Rohre 36 und in die Brennkammer 38 strömen.

[0028] Wie vorstehend unter Bezugnahme auf die in **Fig. 6** dargestellte Ausführungsform beschrieben, kann, wenn die Rohre 36 in den Brenner 14 eingebaut sind, wie z.B. der in **Fig. 2** dargestellte exemplarische Brenner 14, der sich ergebende Verbrennungsprozess in der Brennkammer Wärmefreisetzungsfektuationen erzeugen, die wiederum eine Kopplung mit einem oder mehreren akustischen Moden des Brenners 14 unter Erzeugung von Verbrennungsinstabilitäten eingehen können. Ein spezifischer Mechanismus, durch welchen Verbrennungsinstabilitäten erzeugt werden können, tritt auf, wenn die durch die Wärmefreisetzungsfektuationen angetriebenen akustischen Pulsationen stromaufwärts zu den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 wandern, wo sie mit dem Brennstoffstrom durch die Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 interferieren können und Fluktuationen in der Brennstoff-/Luft-Gemischkonzentration erzeugen, die stromabwärts zu der Verbrennungsflamme strömt. Diese Fluktuation des Brennstoff/Luft-Verhältnisses wandert dann stromabwärts zu dem Flammenbereich, wo sie eine Wärmefreisetzungsfektuation bewirken kann. Vorausgesetzt, dass die sich ergebende Wärmefreisetzungsfektuation angenähert phasengleich mit Druckfluktuationen ist, wird sie Wärmefreiset-

zungsfluktuationen weiter begünstigen, was eine kontinuierliche Rückkopplungsschleife vervollständigt. Umgekehrt verringert, wenn die sich ergebende Wärmefreisetzungsfrequenz und die Druckfluktuation phasenverschoben sind, eine destruktive Interferenz die Größe der den Rohren 36, den Rohrbündeln 62 und/oder der Kappenanordnung 50 zugeordneten Verbrennungsfrequenz. Die den Rohren 36 und/oder Rohrbündeln 62 zugeordnete Verbrennungsfrequenz kann wiederum konstruktiv oder destruktiv miteinander interferieren, um die Amplitude der dem speziellen Brenner 14 zugeordneten Verbrennungsfrequenz zu erhöhen oder zu verringern.

[0029] Die sich ergebende Verbrennungsfrequenzen sind eine Funktion der Zeit, die der akustische Druckimpuls benötigt, um den Brennstoffeinlass zu erreichen und dann der sich daraus ergebenden Brennstoff/Luft-Verhältnisstörung, um die Flammenzone zu erreichen. Diese Zeit ist im Fachgebiet als Konvektionszeit oder τ bekannt. Die durch die Wechselwirkung der Fluktuationen des Brennstoff/Luft-Verhältnisses und der akustischen Druckfluktuation erzeugten Verbrennungsfrequenzen sind daher umgekehrt proportional zu dem axialen Abstand zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und der Brennkammer 38 (d.h., den Rohrauslässen 88). In speziellen Ausführungsformen können diese Verbrennungsfrequenzen angepasst und/oder in einer oder mehreren Rohren 36 und/oder Rohrbündeln 62 abgestimmt werden, um die dem individuellen Brenner 14 zugeordnete Verbrennungsfrequenz zu beeinflussen. In der in den **Fig. 6** und **9** dargestellten speziellen Ausführungsform können beispielsweise die Rohre 36 einen anderen axialen Abstand 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 für jedes Rohrbündel 62 haben. Als eine Folge ist die Verbrennungsfrequenz für jedes Rohr 42 leicht unterschiedlich, was eine konstruktive Interferenz zwischen den Rohrbündeln 62 vor einer Erhöhung der Amplitude der Verbrennungsfrequenz in Verbindung mit dem speziellen Brenner 14 reduziert oder verhindert. Der Fachmann wird aus den Lehren hierin leicht erkennen, dass mehrere Kombinationen von Varianten in den axialen Abständen 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine gewünschte Verbrennungsfrequenz für jedes Rohr 36 und/oder Rohrbündel 62 und/oder eine gewünschte Verbrennungsfrequenz für den speziellen Brenner 14 zu erzielen. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen die axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 dieselben oder unterschiedliche für einige oder alle Rohre 34 und/oder Rohrbündel 62 in einem speziellen Brenner 14 sein, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Kombination axialer Abstände 96

beschränkt, soweit es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0030] Die mehreren in die Gasturbine 10 eingebauten Brennern 14 zugeordnete Verbrennungsfrequenz kann wiederum konstruktiv oder destruktiv miteinander interferieren, um die Amplitude und/oder Kohärenz der der Gasturbine 10 zugeordneten Verbrennungsfrequenz zu erhöhen oder zu verringern. In speziellen Ausführungsformen können die einem oder mehreren Brennern 14 zugeordneten Verbrennungsfrequenzen und/oder Verbrennungsfrequenzen angepasst und/oder abgestimmt werden, um die Wechselwirkung mit der Verbrennungsfrequenz eines weiteren Brenners 14 und somit die der Gasturbine 10 zugeordnete Verbrennungsfrequenz zu beeinflussen. Beispielsweise stellt **Fig. 10** ein System zur Reduzierung der Verbrennungsfrequenz gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar. In der in **Fig. 10** dargestellten speziellen Ausführungsform sind mehrere Brenner 14, wie in den **Fig. 5** und **9** dargestellt, um eine Achse 100 herum angeordnet. Die Achse 100 kann beispielsweise mit dem Rotor 18 in der Gasturbine 10 zusammenfallen, der den Verdichterabschnitt 12 mit dem Turbinenabschnitt 16 verbindet, obwohl die vorliegende Erfindung nicht auf die spezielle Ausrichtung der Achse 100 der speziellen Anordnung von Brennern 14 um die Achse 100 herum beschränkt ist.

[0031] Gemäß Darstellung in **Fig. 10** enthält jeder Brenner 14 mehrere Rohre 36, die in tortenstückförmigen Rohrbündeln 62 angeordnet sind, die in Umfangsrichtung die Brennstoffdüse 34 umgeben, und die Brennkammer 38 ist stromabwärts von den Rohren 36, Rohrbündeln 62 und der Brennstoffdüse 34 wie vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 2**, **5** und **9** beschrieben, angeordnet. Zusätzlich enthält das System ferner eine Einrichtung zum Erzeugen einer Verbrennungsfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Der Aufbau für die Einrichtung kann einen Unterschied in einem oder mehreren von den axialen Abständen 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 zwischen den zwei Brennern 14 beinhalten. In der in **Fig. 10** dargestellten speziellen Ausführungsform ist beispielsweise der axiale Abstand 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 für jedes Rohrbündel 62 zwischen zwei Brennern 14 unterschiedlich. Demzufolge erzeugt die Einrichtung unterschiedliche Verbrennungsfrequenzen in den zwei Brennern 14. Der Fachmann wird leicht aus den Lehren hierin erkennen, dass mehrere Kombinationen von Variationen in den axialen Abständen 96 zwischen den Brennstoffeinspritz-einrichtungen 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine gewünschte Verbrennungs-

instabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen einer oder mehrere axiale Abstände 96 zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und der Brennkammer 38 dieselben oder unterschiedliche für eines oder mehrere von den Rohren 36 und/oder Rohrbündeln 62 in einem speziellen Brenner 14 im Vergleich zu dem anderen Brenner 14 sein, solange die axialen Abstände 96 nicht alle dieselben zwischen zwei Brennern 14 sind, und die vorliegende Erfindung ist auf keine spezielle Kombination von axialen Abständen 96 beschränkt, soweit es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0032] **Fig.** 11 stellt ein System zur Reduzierung von Verbrennungsdynamik gemäß einer Ausführungsform bereit, die als solche nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört. Gemäß Darstellung in **Fig.** 11 enthält jeder Brenner 14 wiederum mehrere Rohre 36, die in tortenstückförmigen Bündeln 62 angeordnet sind, die in Umfangsrichtung die Brennstoffdüse 34 umgeben, und die Brennkammer 38 ist stromabwärts von den Rohren 36, Rohrbündeln 62 und der Brennstoffdüse 34 wie vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig.** 2, 5, 9 und 10 beschrieben angeordnet. Zusätzlich können die axialen Positionen der Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 in jedem Brenner 14 unterschiedlich sein. In der in **Fig.** 11 dargestellten spezifischen Ausführungsform sind beispielsweise die axialen Positionen der Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 für jedes Rohrbündel 62 innerhalb desselben Brenners 14 unterschiedlich, aber die axialen Positionen der Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 für jedes Rohrbündel 62 werden in beiden Brennern 14 wiederholt.

[0033] Die in **Fig.** 11 dargestellte Ausführungsform enthält wiederum eine Einrichtung zum Erzeugen einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Resonanzfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Wie bei der in **Fig.** 8 beschriebenen und dargestellten vorherigen Ausführungsform kann der Aufbau für die Einrichtung einen Unterschied in einer axialen Länge 80 der Kappenanordnung 50 in einem Brenner 14 im Vergleich zu der axialen Länge 80 der Kappenanordnung in dem anderen Brenner 14 beinhalten. Mit den in beiden Brennern 14 wiederholten axialen Positionen der Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 erzeugt der Unterschied in den axialen Längen 80 zwischen den zwei Brennern 14 einen entsprechenden Unterschied in den axialen Abständen 96 zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und der Brennkammer 38 zwischen den zwei Brennern 14. Der Unterschied in den axialen Abständen 96 zwischen den zwei Brennern 14 erzeugt einen entsprechenden Unterschied in den Verbrennungs-

instabilitäts- oder Resonanzfrequenzen zwischen den zwei Brennern 14. Ein Fachmann wird aus den Lehren hierin leicht erkennen, dass mehrere Kombinationen von Varianten in den axialen Abständen 96 zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und der Brennkammer 38 möglich sind, um eine Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. Beispielsweise können in speziellen Ausführungsformen eine oder mehrere axiale Abstände 76 zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 74 und der Brennkammer 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 dieselben oder unterschiedliche für eine oder mehrere von den Brennstoffdüsen 34 in einem speziellen Brenner 14 im Vergleich zu dem anderen Brenner 14 sein, und die vorliegende Erfindung ist auf keinerlei spezielle Kombination axialer Abstände 76 beschränkt, sofern es nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0034] **Fig.** 12 stellt einen exemplarischen Graphen für die Brennerdynamik gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar. Die horizontale Achse stellt einen Bereich von Verbrennungsinstabilitäts- oder Resonanzfrequenzen dar, und die vertikale Achse stellt einen Bereich von Amplituden dar. Das in **Fig.** 12 dargestellte System kann drei oder mehrere in eine Gasturbine 10 oder eine andere Turbomaschine eingebaute Brenner 14 enthalten. Unter Verwendung der Einrichtung zum Erzeugen einer Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14, die sich von der Verbrennungsinstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet, kann jeder Brenner 14 so eingestellt oder abgestimmt werden, dass eine gewünschte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz oder Verbrennungsdynamik erzielt wird. Gemäß Darstellung in **Fig.** 12 kann beispielsweise eine erste Gruppe von Brennern 14 eingestellt und/oder abgestimmt werden, um eine erste Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102 zu erhalten, eine zweite Gruppe von Brennern 14 kann eingestellt und/oder abgestimmt werden, um eine zweite Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 104 zu erhalten und eine dritte Gruppe von Brennern 14 kann eingestellt und/oder abgestimmt werden, um eine dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 106 zu erhalten. Die erste, zweite und dritte Verbrennungsinstabilitätsfrequenz 102, 104, 106 unterscheiden sich leicht voneinander und sind daher leicht zueinander phasenverschoben. Demzufolge können die den Brennern 14 zugeordneten Verbrennungsinstabilitätsfrequenzen 102, 104, 106 nicht kohärent oder konstruktiv miteinander interferieren, was eine Zunahme der Verbrennungsdynamik reduziert oder verhindert und/oder die Fähigkeit des Verbrennungssystems, Mitschwingungen in dem stromabwärts befindlichen Turbinenabschnitt 16 anzutreiben, reduziert.

[0035] Ein Fachmann wird aus den Lehren hierin leicht erkennen, dass die unter Bezugnahme auf die **Fig. 1-11** beschriebenen und dargestellten verschiedenen Strukturen ein oder mehrere Verfahren zum Reduzieren von Verbrennungsdynamik und/oder Reduzieren der Kohärenz der Verbrennungsdynamik für zwei oder mehr Brenner 14 bereitstellen können. Die Verfahren können beispielsweise das Strömen des Arbeitsfluids 92 und des Brennstoffs durch eine oder mehrere Brennstoffdüsen 34, Rohre 36 und/oder Rohrbündel 62 in die Brennkammern 38 von mehreren Brennern 14 beinhalten. In speziellen Ausführungsformen kann das Verfahren das Verändern eines oder mehrerer von den axialen Abständen 76 zwischen den Brennstoffeinlässen 74 und den Brennkammern 38 und/oder den Leitelementen 72 und der Brennkammer 38 beinhalten, solange die axialen Abstände 76 nicht alle dieselben zwischen allen Brennern 14 sind, um eine Verbrennunginstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennunginstabilitätsfrequenz in den anderen Brennern 14 unterscheidet. In weiteren speziellen Ausführungsformen kann das Verfahren die Veränderung von einem oder mehreren der axialen Abstände 96 zwischen den Brennstoffeinspritzeinrichtungen 94 und der Brennkammer 38 beinhalten, solange die axialen Abstände 96 nicht alle dieselben zwischen allen Brennern 14 sind, um eine Verbrennunginstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennunginstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet. In noch einer weiteren speziellen Ausführungsform kann das Verfahren die Veränderung von einer oder mehreren axialen Längen 80 der Kappenanordnung 50 beinhalten, solange die axialen Längen 80 nicht alle dieselben zwischen allen Brennern 14 sind, um eine Verbrennunginstabilitätsfrequenz in einem Brenner 14 zu erzeugen, die sich von der Verbrennunginstabilitätsfrequenz in dem anderen Brenner 14 unterscheidet.

[0036] Die unter Bezugnahme auf die **Fig. 1-12** beschriebenen und dargestellten verschiedenen Ausführungsformen können einen oder mehrere von den nachstehenden Vorteilen gegenüber vorhandenen Brennern 14 bereitstellen. Insbesondere können die unterschiedlichen axialen Abstände 76, 96 und/oder axialen Längen 80 alleine oder in verschiedenen Kombinationen die Verbrennunginstabilitätsfrequenzen der Verbrennungsdynamik entkoppeln. Demzufolge können die hierin beschriebenen verschiedenen Ausführungsformen den thermodynamischen Wirkungsgrad verbessern, die Flammenstabilität fördern und/oder unerwünschte Emissionen über einen breiten Bereich von Betriebswerten reduzieren.

[0037] Diese Beschreibung nutzt Beispiele, um die Erfindung einschließlich ihrer besten Ausführungsart offenzulegen und um auch jedem Fachmann zu

ermöglichen, die Erfindung einschließlich der Herstellung und Nutzung aller Elemente und Systeme und der Durchführung aller einbezogenen Verfahren in die Praxis umzusetzen. Der patentfähige Schutzumfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele umfassen, die für den Fachmann ersichtlich sind. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzumfang der Erfindung enthalten sein, sofern sie strukturelle Elemente besitzen, die sich nicht von dem Wortlaut der Ansprüche unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Änderungen gegenüber dem Wortlaut der Ansprüche enthalten.

BEZUGSZEICHENLISTE:

10	Gasturbine
12	Verdichterabschnitt
14	Brenner
16	Turbinenabschnitt
18	Rotor
20	Generator
22	Arbeitsfluid
24	stationäre Leitschaufeln
26	rotierende Laufschaufeln
28	Verdichtergehäuse
30	Verdichterausgabesammelraum
32	Brennergehäuse
34	Brennstoffdüsen
36	Rohre
38	Brennkammer
40	Übergangskanal
42	rotierende Schaufeln
44	stationäre Leitapparate
46	Endabdeckung
48	Kopfende
50	Kappenanordnung
52	Einsatz
54	Strömungslöcher
56	Prallhülse
58	ringförmige Rohrbündel
60	mittiges Rohrbündel
62	tortenstückförmige Rohrbündel
64	axiale Mittellinie
66	Mittenkörper
68	Abdeckung

70	ringförmiger Durchtritt
72	Leitelemente
74	Brennstoffeinfälsse
76	axiale Abstände
78	Achse
80	axiale Länge der Kappenanordnung
82	stromaufwärts befindliche Oberfläche
84	stromabwärts befindliche Oberfläche
86	Rohreinlass
88	Rohrauslass
90	Brennstoffsammelraum
92	Brennstoffleitung
94	Brennstoffeinspritzeinrichtung
96	axialer Abstand
100	Achse
102	erste Resonanzfrequenz
104	zweite Resonanzfrequenz
106	dritte Resonanzfrequenz

Patentansprüche

1. Gasturbine (10), die aufweist:
 mehrere Brenner (14), die kreisringförmig um eine axiale Mittellinie der Gasturbine herum angeordnet sind, wobei die mehreren Brenner (14) einen ersten Brenner (14) und einen zweiten Brenner (14) umfassen;
 wobei der erste Brenner (14) mehrere ringförmige Rohrbündel (58, 62) von Brennstoffdüsen (34), die kreisringförmig um eine Mittellinie des ersten Brenners (14) angeordnet sind, wobei jedes Rohrbündel (58, 62) einen Brennstoffsammelraum (90) und mehrere sich durch diesen erstreckende Rohre (36) enthält, wobei jedes Rohr (36) einen Rohreinlass (86) stromaufwärts von dem Brennstoffsammelraum (90), einen Rohrauslass (88) stromabwärts von dem Brennstoffsammelraum (90) und eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (94) aufweist, die für eine Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffsammelraum (90) und dem Rohr (36) sorgt, wobei die Brennstoffeinspritzeinrichtung (94) in einem ersten axialen Abstand (96) zu dem Rohrauslass (88) angeordnet ist, und jedes Rohr (36) denselben ersten axialen Abstand (96) aufweist;
 wobei der zweite Brenner (14) mehrere Rohrbündel (58, 62) von Brennstoffdüsen (34) aufweist, die kreisringförmig um eine Mittellinie des zweiten Brenners (14) angeordnet sind, wobei jedes Rohrbündel (58, 62) einen Brennstoffsammelraum (90) und mehrere sich durch diesen erstreckende Rohre (36) aufweist, wobei jedes Rohr (36) einen Rohreinlass (86) stromaufwärts von dem Brennstoffsammel-

raum (90), einen Rohrauslass (88) stromabwärts von dem Brennstoffsammelraum (90) und eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (84) aufweist, die für eine Fluidverbindung zwischen dem Brennstoffsammelraum (90) und dem Rohr (36) sorgt, wobei die Brennstoffeinspritzeinrichtung (94) in einem ersten axialen Abschnitt (96) von dem Rohrauslass (88) angeordnet ist, wobei jedes Rohr (36) denselben ersten axialen Abstand (96) aufweist; und
 wobei der erste axiale Abstand (96) eines der mehreren Rohrbündel (58, 62) des ersten Brenners (14) sich von dem ersten axialen Abstand (96) eines der mehreren Rohrbündel (58, 62) des zweiten Brenners (14) unterscheidet.

2. Gasturbine (10) nach Anspruch 1, wobei die mehreren Rohrbündel (58, 62) des ersten Brenners (14) ein erstes Rohrbündel (58, 62) und ein zweites Rohrbündel (58, 62) aufweisen, wobei der erste axiale Abstand des ersten Rohrbündels (58, 62) sich von dem ersten axialen Abschnitt (96) des zweiten Rohrbündels (58, 62) unterscheidet.

3. Gasturbine (10) nach Anspruch 1, wobei die mehreren Rohrbündel (58, 62) des zweiten Brenners (14) ein erstes Rohrbündel (58, 62) und ein zweites Rohrbündel (58, 62) aufweisen, wobei der erste axiale Abstand (96) des ersten Rohrbündels (58, 62) sich von dem ersten axialen Abstand (96) des zweiten Rohrbündels (58, 62) unterscheidet.

4. Gasturbine (10) nach Anspruch 1, wobei jeder von dem ersten und dem zweiten Brenner (14) eine mittige Brennstoffdüse (34) enthalten, die von den entsprechenden mehreren Rohrbündeln (58, 62) umgeben ist.

5. Gasturbine (10) nach Anspruch 4, wobei jede mittige Brennstoffdüse (34) eine mittige Rohrbündel-Brennstoffdüse (34) ist.

6. Gasturbine (10) nach Anspruch 4, wobei jede mittige Brennstoffdüse (34) des ersten und des zweiten Brenners (14) einen Mittenkörper (66), eine Abdeckung (68), die sich um einen Abschnitt des Mittenkörpers (66) erstreckt, und mehrere Leitelemente (72) aufweist, die sich von dem Mittenkörper (66) zu der Abdeckung (68) erstrecken, wobei die Abdeckung (68) einen ringförmigen Durchtritt (70) dazwischen definiert.

7. Gasturbine (10) nach Anspruch 6, wobei die mittige Brennstoffdüse (34) des ersten Brenners (14) einen ersten Brennstoffeinlass (74) durch wenigstens ein der mehreren Leitelemente (72) in einem ersten axialen Abstand (76) von einer Brennkammer (38), die innerhalb des ersten Brenners (14) ausgebildet ist, und einen zweiten Brennstoffeinlass (74) durch den Mittenkörper (66) in der Nähe eines Spitzenabschnitts des Mittenkörpers (66) in einem

zweiten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) aufweist und die mehreren Leitelemente (72) in einem dritten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) angeordnet sind.

8. Gasturbine (10) nach Anspruch 7, wobei die mittige Brennstoffdüse (34) des zweiten Brenners (14) einen ersten Brennstoffeinlass (74) durch wenigstens ein der mehreren Leitelemente (72) in einem ersten axialen Abstand (76) von einer Brennkammer (38), die innerhalb des zweiten Brenners (14) ausgebildet ist, und einen zweiten Brennstoffeinlass durch den Mittenkörper (66) in der Nähe eines Spitzenabschnitts des Mittenkörpers (66) in einem zweiten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) aufweist und die mehreren Leitelemente (72) in einem dritten axialen Abstand (76) von der Brennkammer (38) angeordnet sind.

9. Gasturbine nach Anspruch 8, wobei der erste axiale Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des ersten Brenners (14) sich von dem ersten axialen Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des zweiten Brenners (14) unterscheidet; und/oder wobei der zweite axiale Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des ersten Brenners (14) sich von dem zweiten axialen Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des zweiten Brenners (14) unterscheidet; und/oder wobei der dritte axiale Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des ersten Brenners (14) sich von dem dritten axialen Abstand (76) der mittigen Brennstoffdüse (34) des zweiten Brenners (14) unterscheidet.

10. Gasturbine (10) nach Anspruch 8, wobei der erste und der zweite Brenner (14) jeweils eine Kappenanordnung (50) enthalten, die die mehreren Rohrbündel (58, 62) von Brennstoffdüsen (34) umfangsmäßig umgibt, wobei jede Kappenanordnung (50) eine axiale Länge (80) aufweist, wobei sich die axiale Länge (80) der Kappenanordnung (50) in dem ersten Brenner (14) von der axialen Länge (80) der Kappenanordnung (50) in dem zweiten Brenner (14) unterscheidet.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

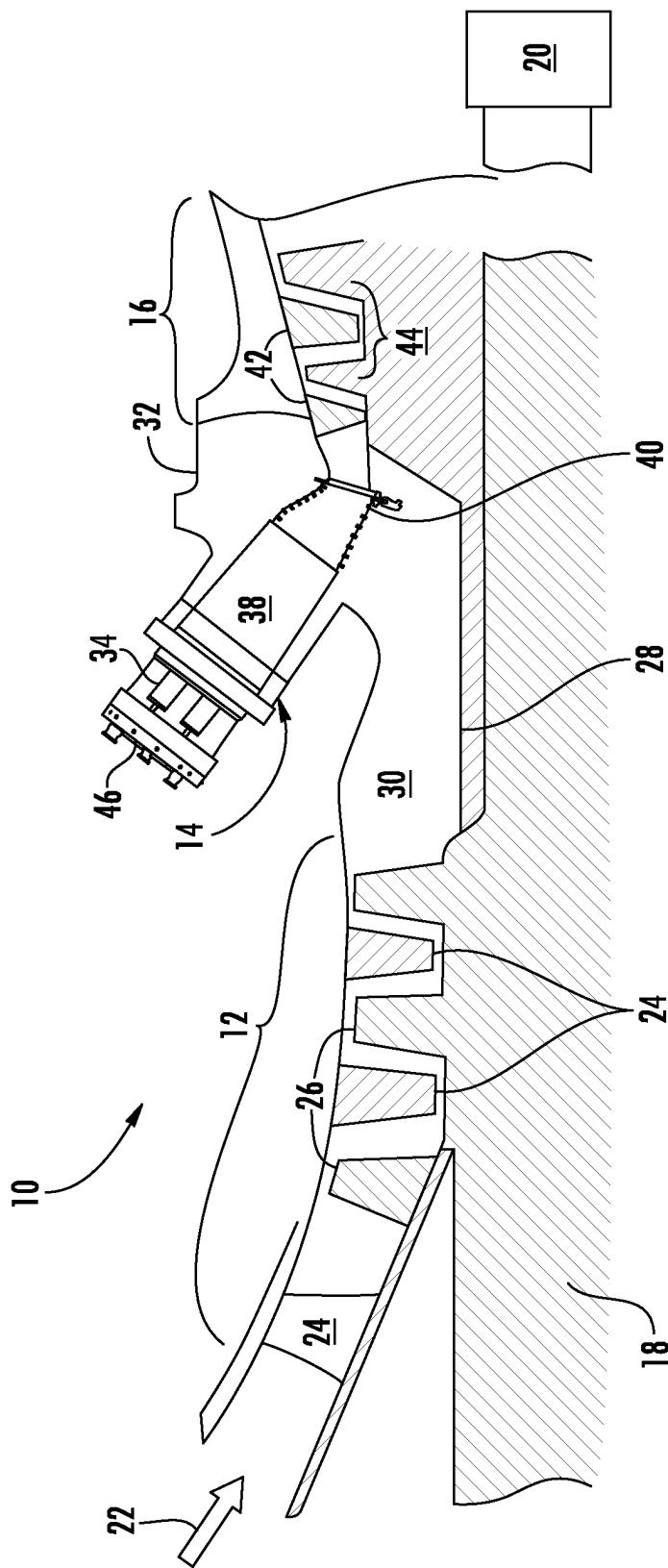


FIG. 1 (Stand der Technik)

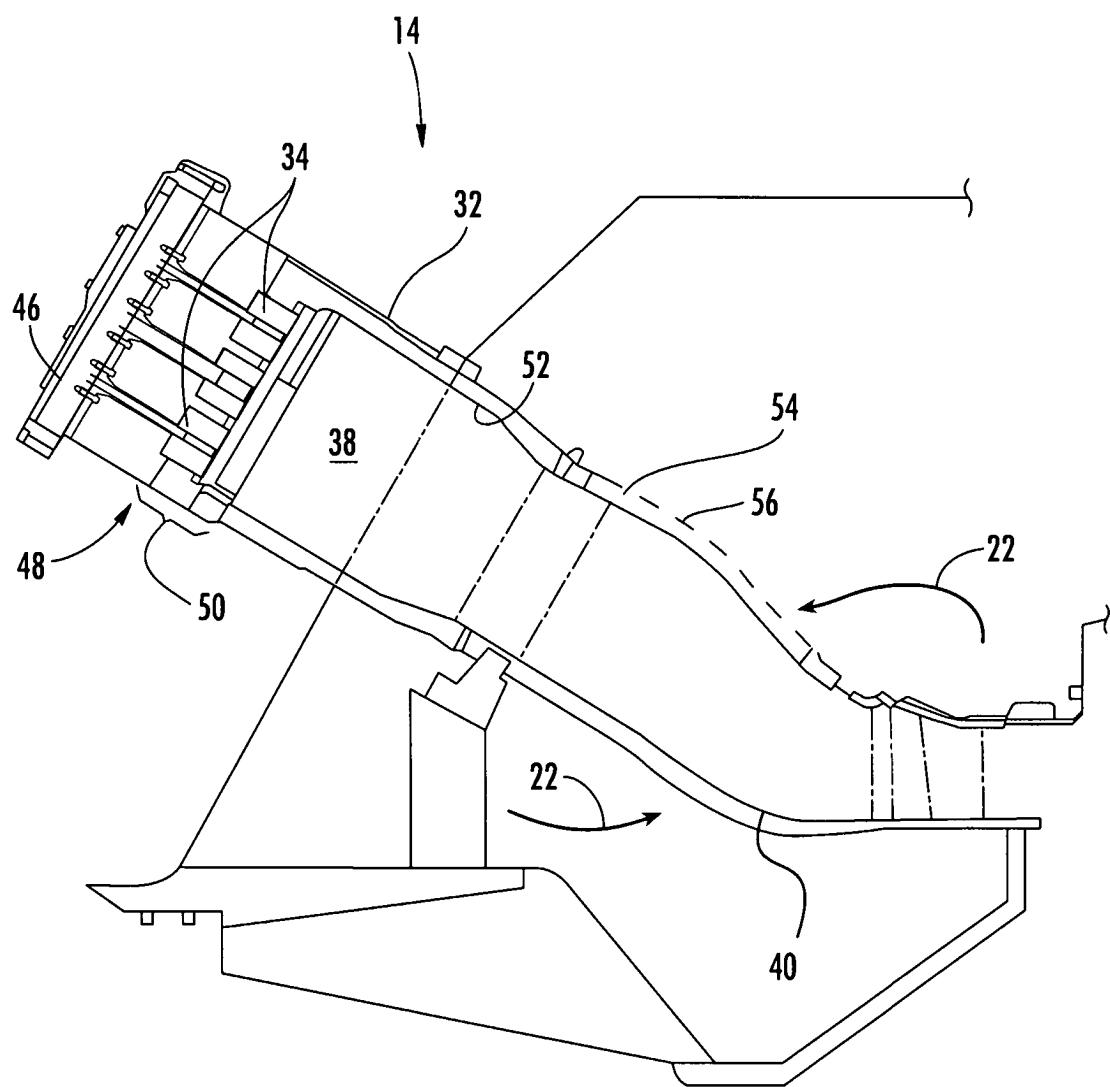


FIG. 2

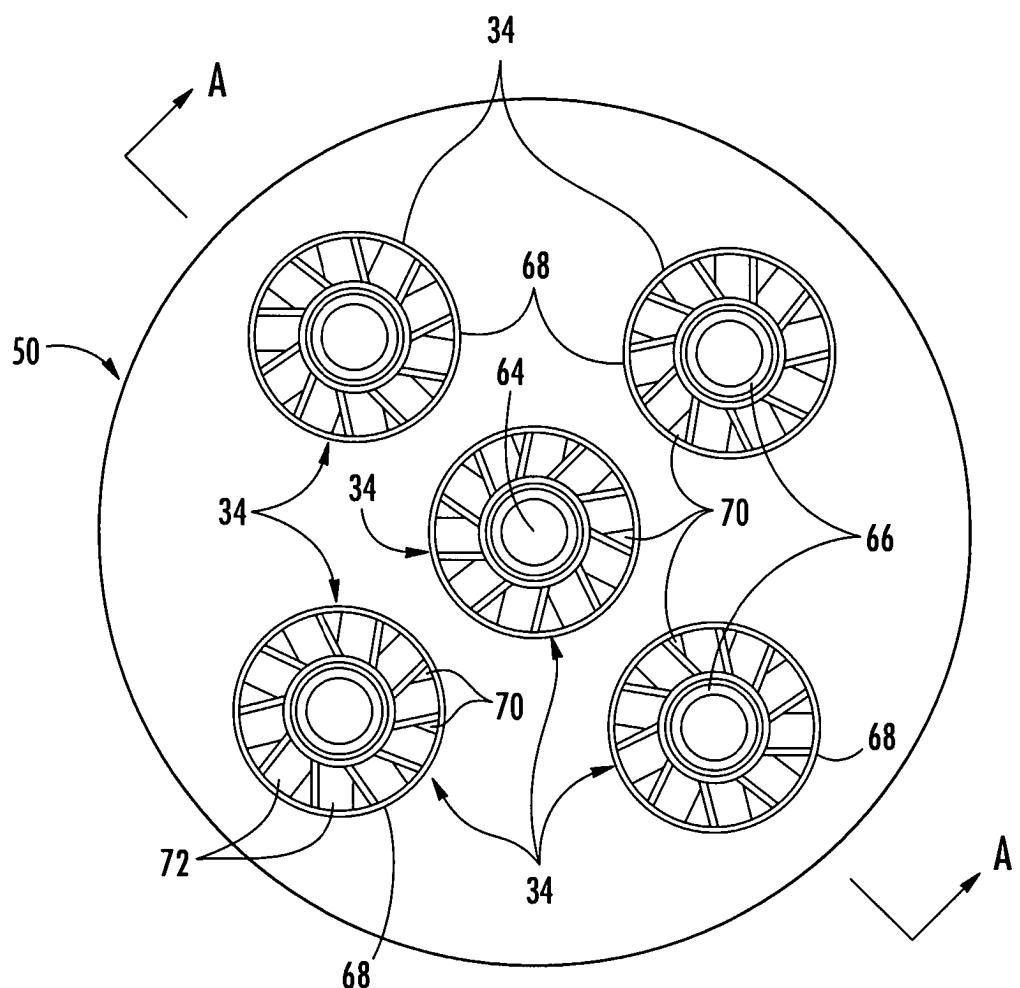


FIG. 3

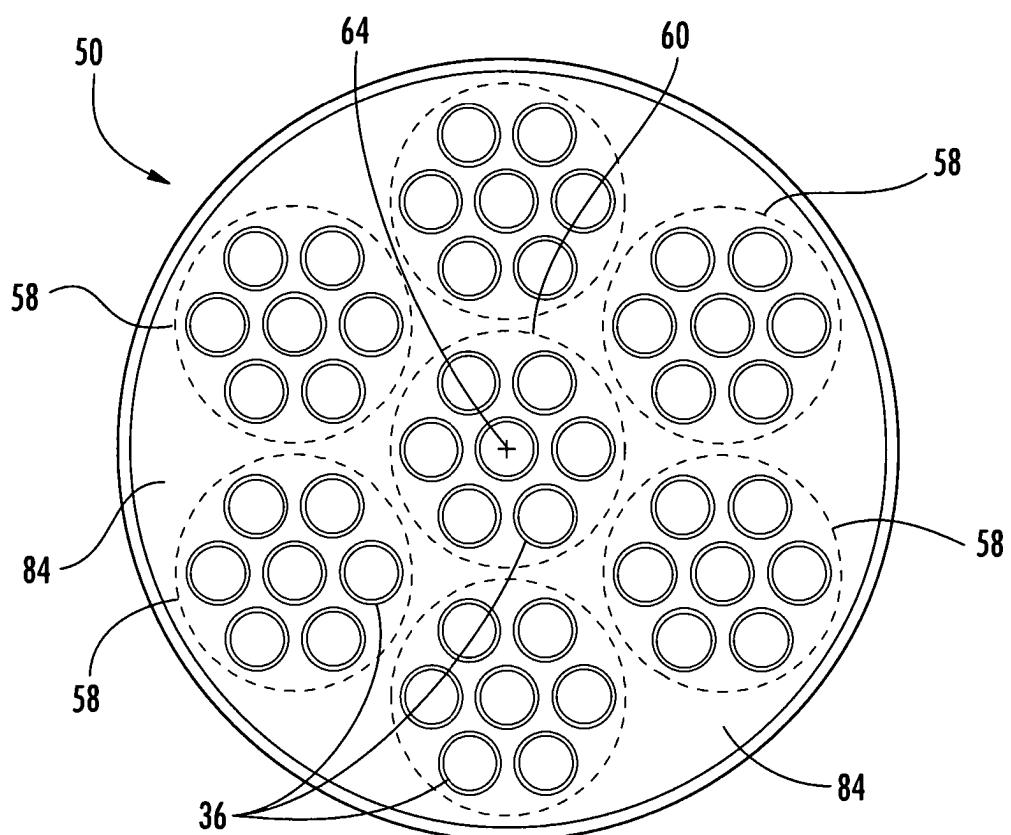


FIG. 4

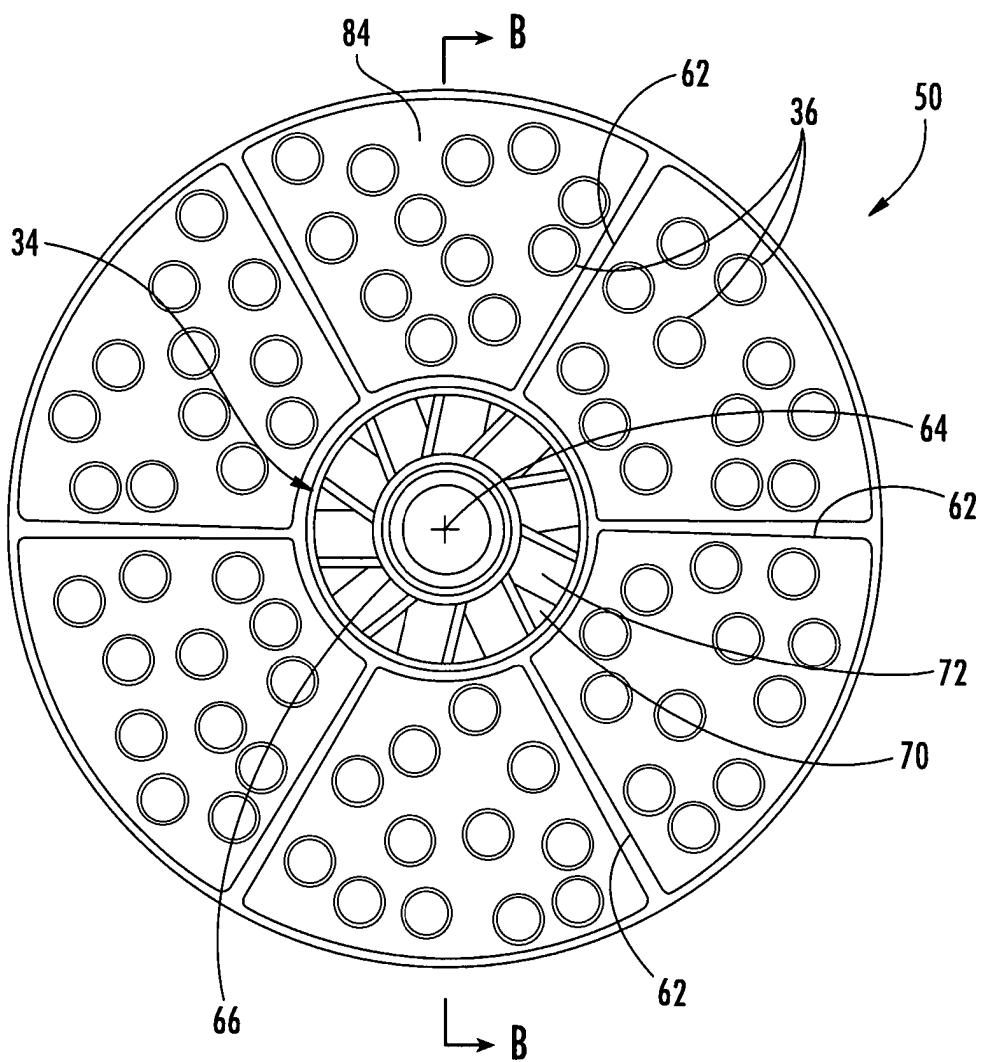


FIG. 5

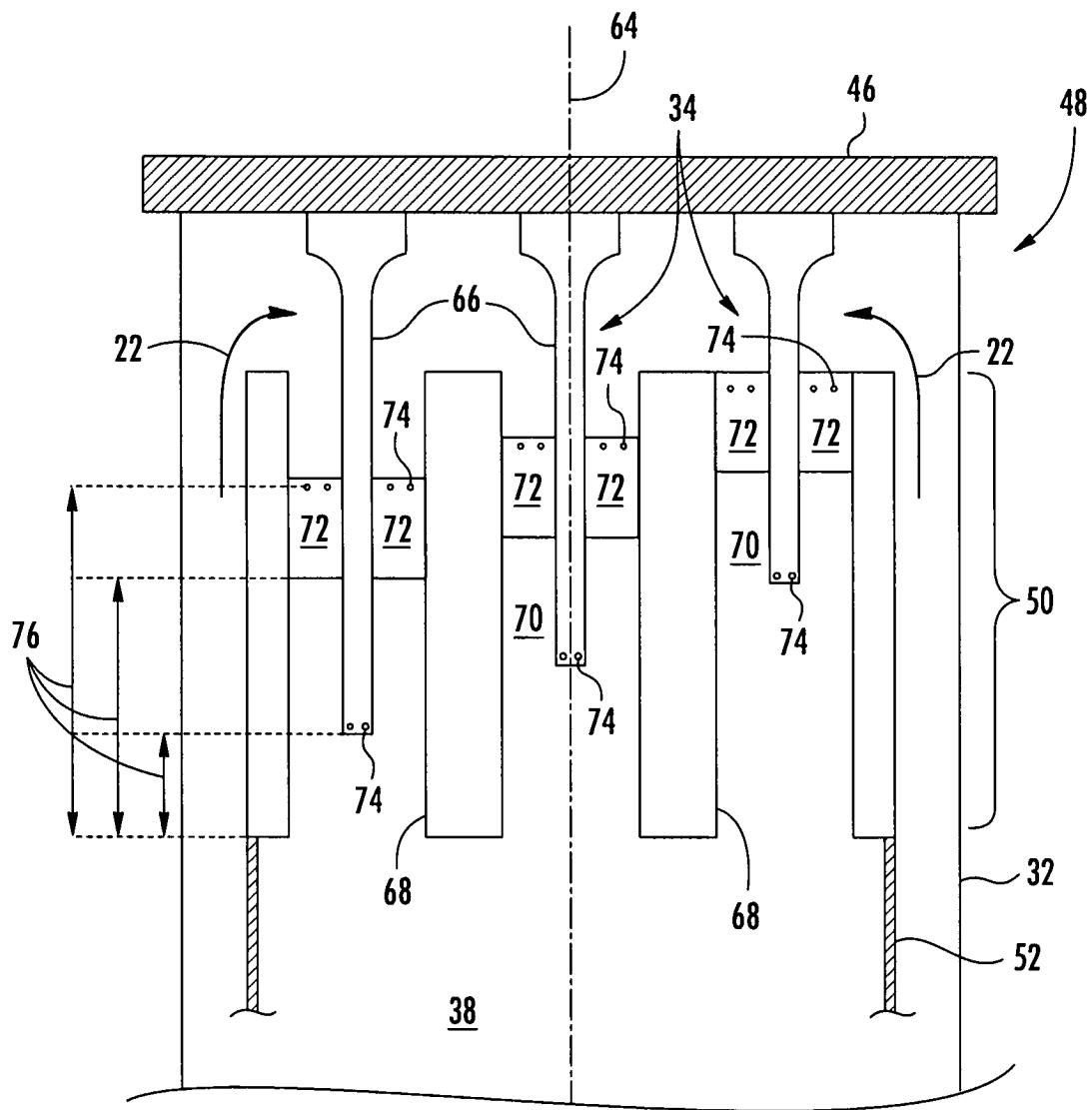


FIG. 6

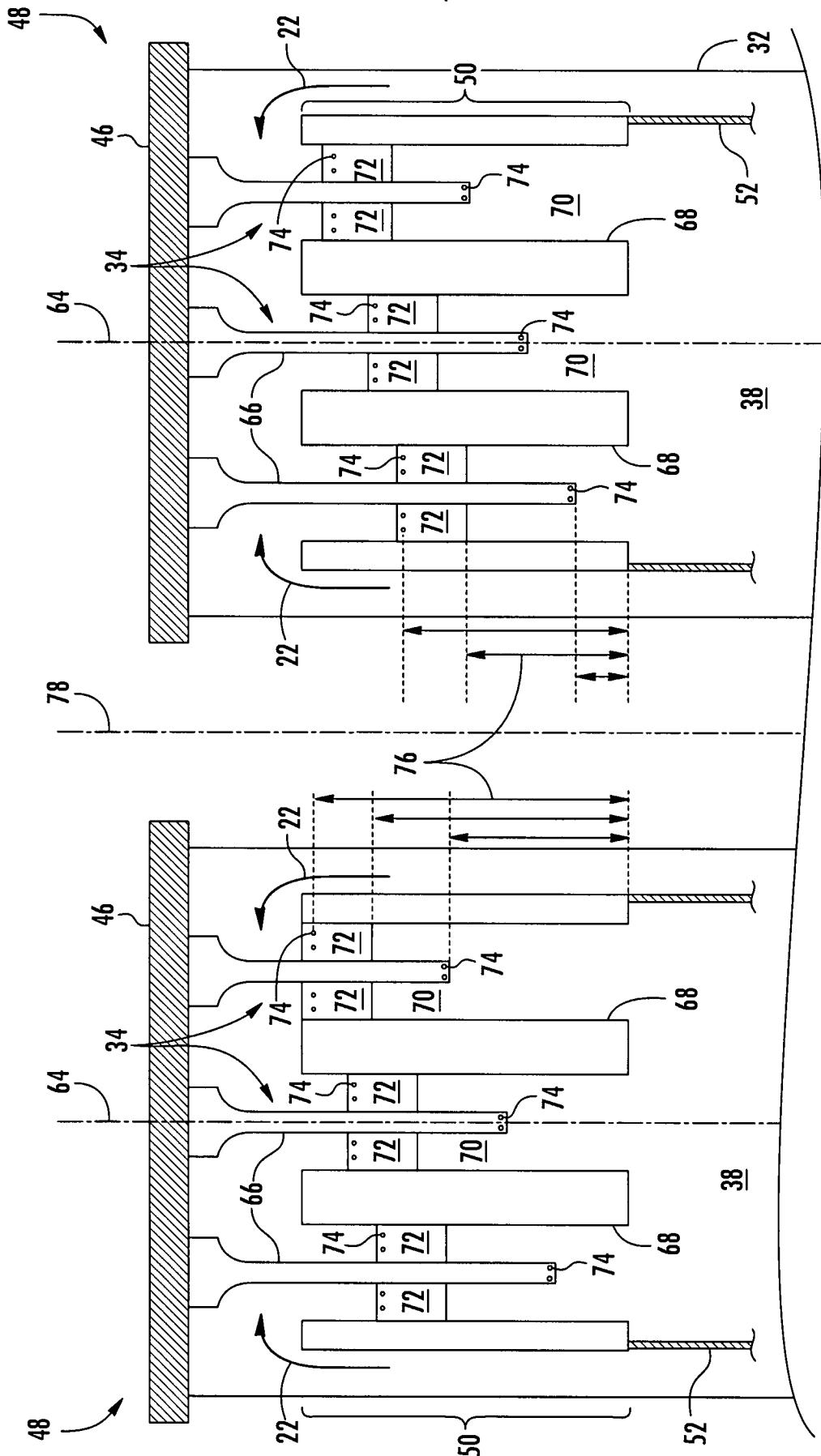


FIG. 7

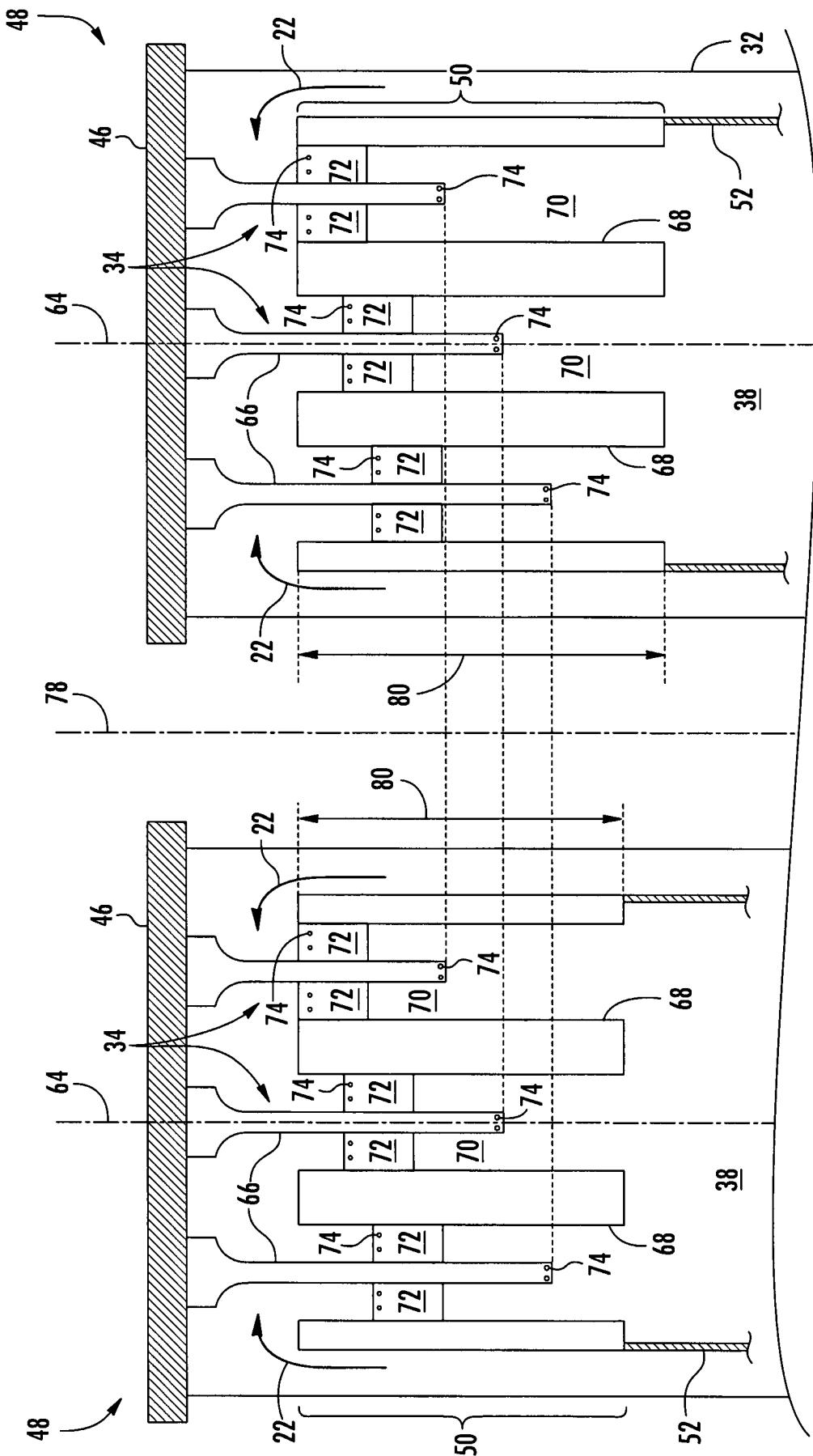


FIG. 8

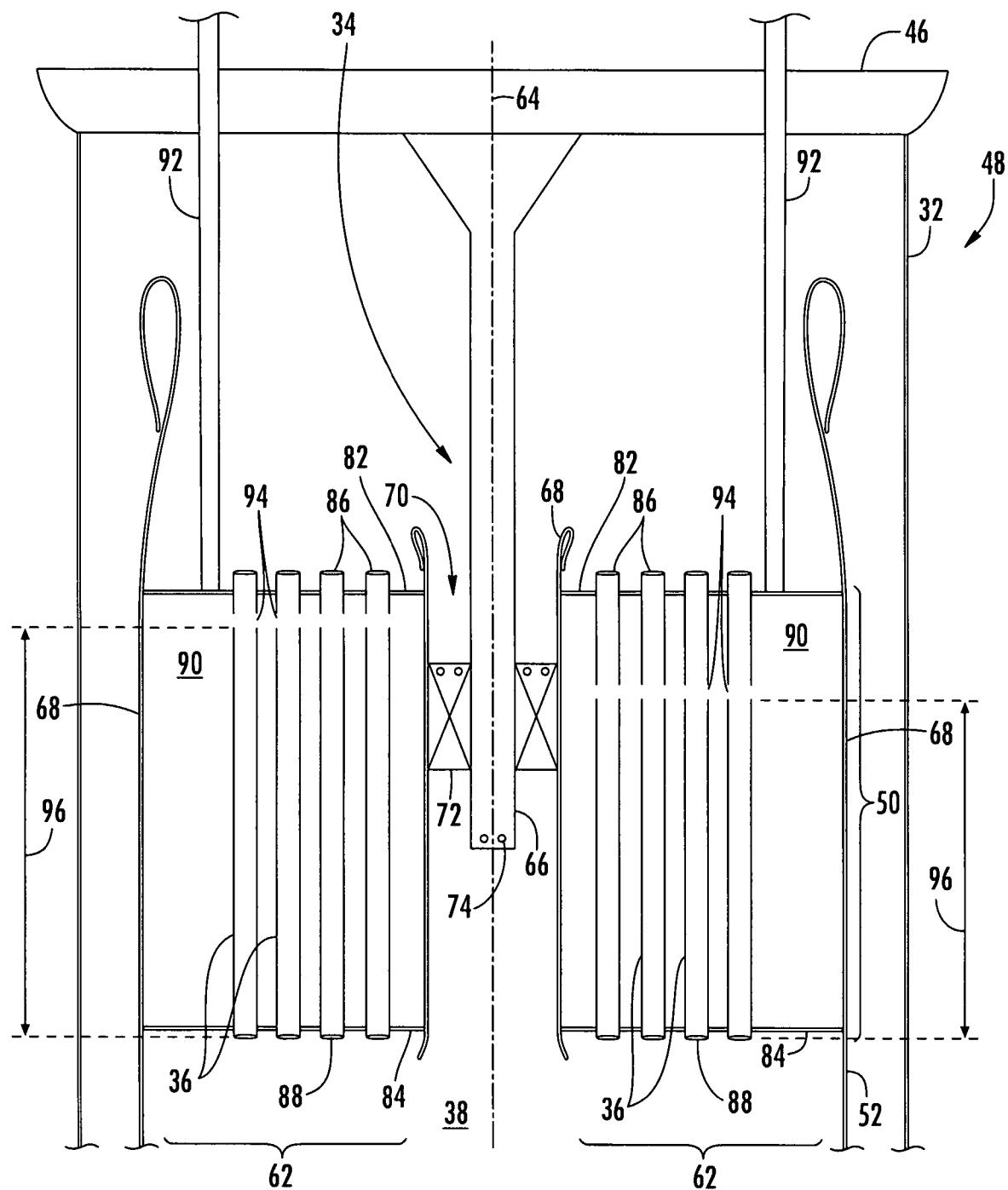


FIG. 9

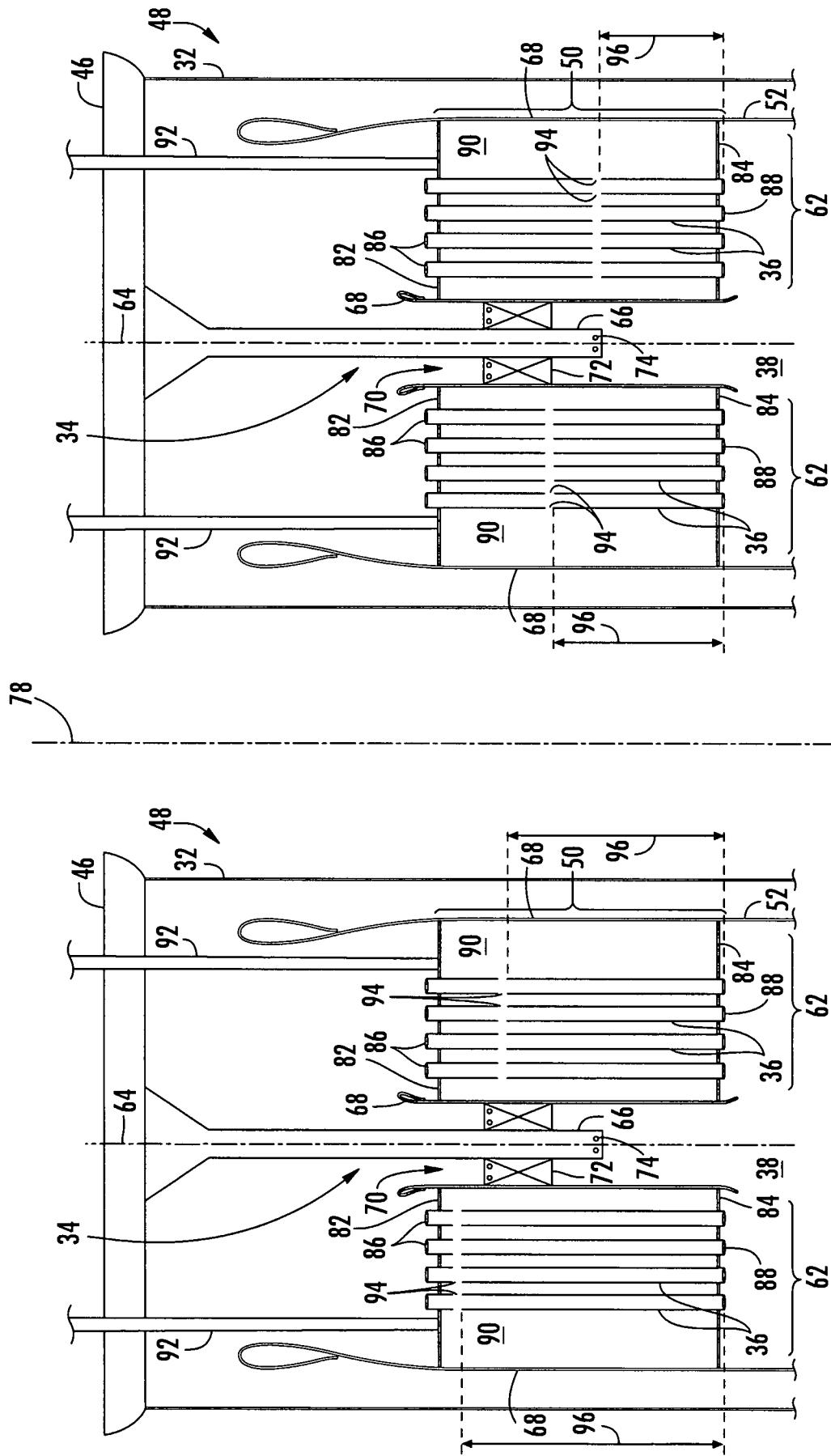


FIG. 10

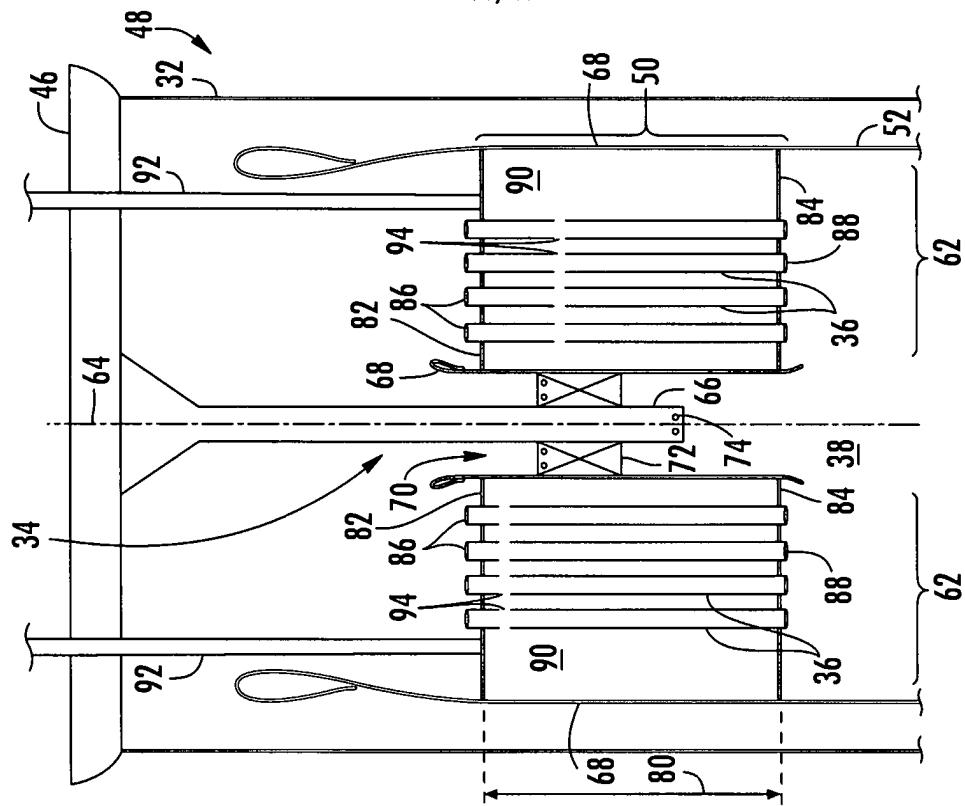
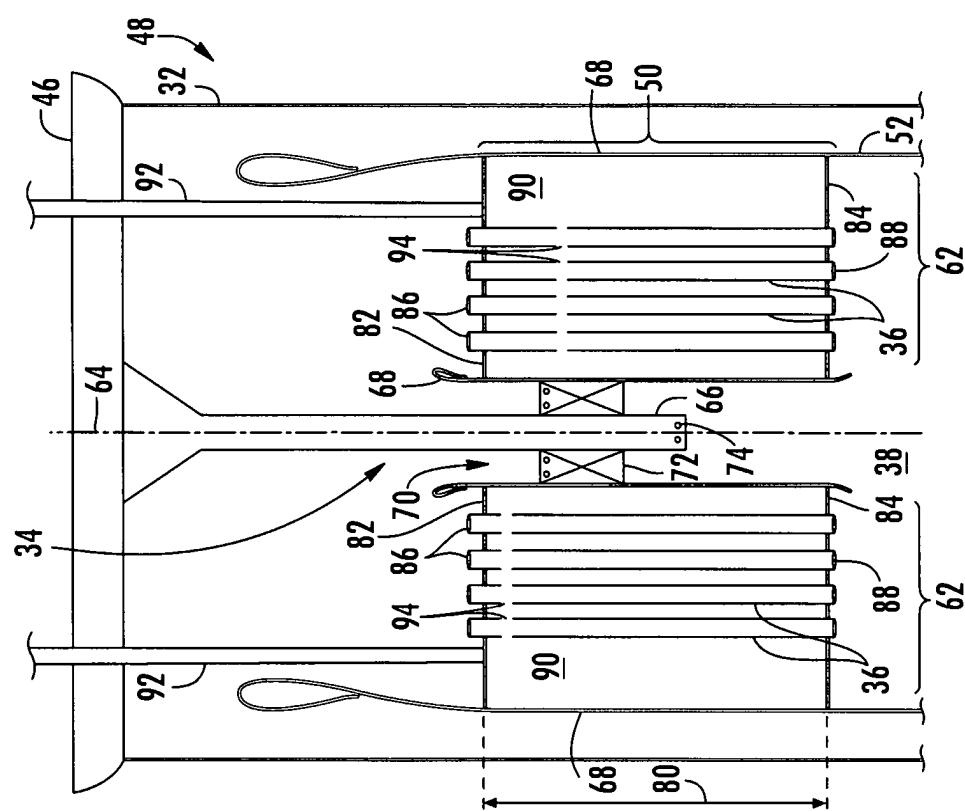


FIG. 11



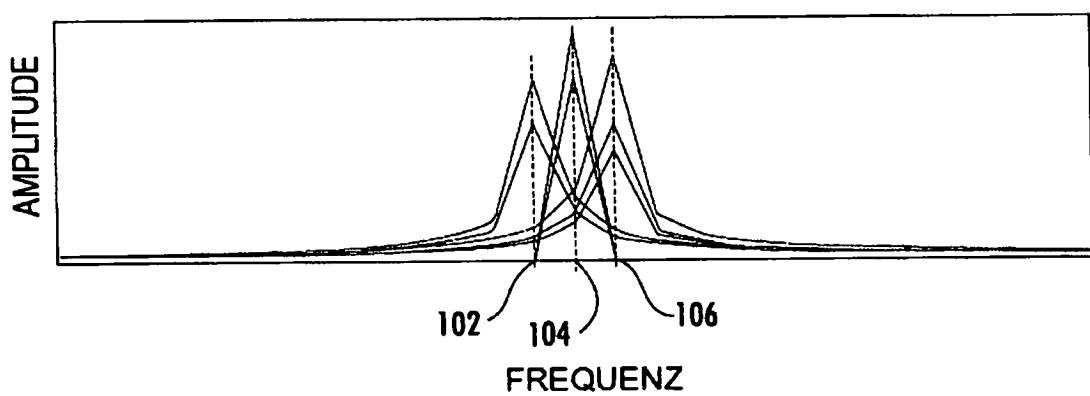


FIG. 12