

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 701 996 A2

(51) Int. Cl.: F02C 3/22 (2006.01)
F02C 3/34 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01620/10

(22) Anmeldedatum: 04.10.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.04.2011

(30) Priorität: 09.10.2009 US 12/576,865

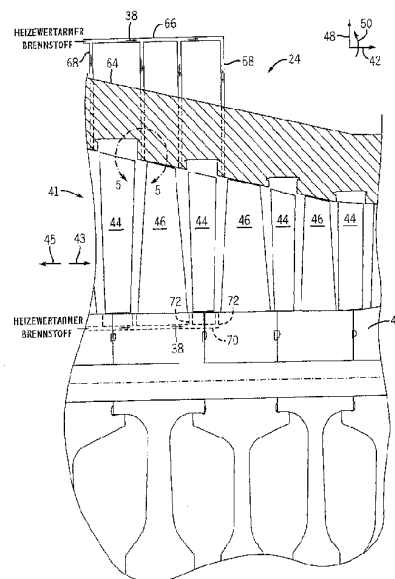
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Mahesh Bathina, Bangalore, Karnataka 560066 (IN)
Ramanand Singh, Bangalore, Karnataka 560066 (IN)
Gunnar Leif Siden,
GTTL, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Andrew Mitchell Rodwell,
GTTL, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Robert Thomas Thatcher,
GTTL, Greenville, South Carolina 29615 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Einspritzsystem für heizwertarmen Brennstoff.

(57) Ein System enthält einen Gasturbinenverdichter (24) mit mehreren um einen Umfang des Gasturbinenverdichters (24) herum angeordneten radialen (Verdichterleitschaufeln (44, 46). Jede Verdichterleitschaufel (44, 46) enthält mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff, die dafür eingerichtet sind, gasförmigen Brennstoff (38) in den Gasturbinenverdichter (24) einzuspeisen.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die hier offenbarte Erfindung betrifft ein Einspritzsystem für Brennstoff mit niedrigem Heizwert.

[0002] Gasturbinen verbrennen ein Gemisch aus Brennstoff und Luft, um heisse Verbrennungsgase zu erzeugen. Gasturbinen nutzen typischerweise einen Brennstoff mit hohem Heizwert wie z.B. Erdgas. Brennstoffe mit niedrigem Heizwert stehen oft zu niedrigen Kosten zur Verfügung, jedoch sind diese Brennstoffe nicht leicht in Gasturbinen verarbeitbar. Die geringe Volumenenergie kann Probleme bei Verbrennung, Emissionen und Leistung der Gasturbinen erzeugen.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0003] Nachstehend sind einige dem Schutzzumfang der ursprünglich beanspruchten Erfindung entsprechende Ausführungsformen zusammengefasst. Diese Ausführungsformen sollen den Schutzzumfang der beanspruchten Erfindung nicht einschränken, sondern stattdessen sollen diese Ausführungsformen nur eine kurze Zusammenfassung möglicher Formen der Erfindung geben. Tatsächlich kann die Erfindung eine Vielfalt von Formen umfassen, die den nachstehend beschriebenen Ausführungsformen ähneln oder sich davon unterscheiden.

[0004] In einer ersten Ausführungsform enthält ein System einen Gasturbinenverdichter, der eine stromaufwärts befindliche Stufe und eine stromabwärts befindliche Stufe enthält. Das System enthält auch eine Rückführungsanordnung für gasförmigen Brennstoff in Fluidverbindung mit der stromaufwärts befindlichen Stufe und der stromabwärts befindlichen Stufe. Die Rückführungsanordnung für gasförmigen Brennstoff ist dafür eingerichtet, gasförmigen Brennstoff in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspritzen, ein Brennstoff/Luft-Gemisch aus der stromabwärts befindlichen Stufe zu entnehmen und das Brennstoff/Luft-Gemisch wieder in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspritzen.

[0005] In einer zweiten Ausführungsform enthält ein System einen Gasturbinenverdichter mit mehreren um einen Umfang des Gasturbinenverdichters herum angeordneten radialen Vorsprüngen. Jeder radiale Vorsprung enthält mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff, die dafür eingerichtet sind, gasförmigen Brennstoff in den Gasturbinenverdichter einzuspritzen.

[0006] In einer dritten Ausführungsform enthält ein System einen Gasturbinenverdichter mit einem an einem stromaufwärts befindlichen Ende des Gasturbinenverdichters angeordneten Lufteinlass. Das System enthält auch mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff, die in dem Gasturbinenverdichter stromabwärts von dem Lufteinlass angeordnet sind. Jede Injektionsöffnung für gasförmigen Brennstoff ist dafür eingerichtet, gasförmigen Brennstoff in den Gasturbinenverdichter einzuspritzen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0007] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verständlich, wenn die nachstehende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in welchen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile durchgängig durch die Zeichnungen bezeichnen, wobei:

[0008] Fig. 1 eine Blockdarstellung eines Turbinensystems ist, das einen heizwertarmen Brennstoff in einen Gasturbinenverdichter gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik einspritzt;

[0009] Fig. 2 eine Seitenschnittansicht des in Fig. 1 dargestellten Turbinensystems gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik ist;

[0010] Fig. 3 eine Seitenschnittansicht eines Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 ist, die eine Rückführungsanordnung für gasförmigen Brennstoff gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt;

[0011] Fig. 4 eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 ist, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch ein Verdichtergehäuse und eine Verdichternabe gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt;

[0012] Fig. 5 eine Seitenschnittansicht eines Verdichtergehäuses entlang der Linie 5-5 von Fig. 4 gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt;

[0013] Fig. 6 eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 ist, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch stationäre Verdichterleitschaufeln gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt;

[0014] Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen stationären Verdichterleitschaufel mit mehreren Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik ist;

[0015] Fig. 8 eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 ist, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch rotierende Verdichterlaufschaufeln gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt; und

[0016] Fig. 9 ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen rotierenden Verdichterlaufschaufel mit mehreren Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik ist.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0017] Eine oder mehrere spezifische Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachstehend beschrieben. In dem Bemühen, eine knappe Beschreibung dieser Ausführungsformen zu liefern, können nicht alle Merkmale einer tatsächlichen Implementation in der Beschreibung beschrieben werden. Es dürfte erkennbar sein, dass bei der Entwicklung von jeder derartigen tatsächlichen Implementation wie bei jedem technischen oder konstruktiven Projekt zahlreiche implementationsspezifische Entscheidungen getroffen werden müssen, um die spezifischen Ziele des Entwicklers, wie z.B. Übereinstimmung mit systembezogenen und geschäftsbezogenen Einschränkungen zu erreichen, welche von einer Implementation zur anderen variieren können. Ferner dürfte erkennbar sein, dass eine derartige Entwicklungsanstrengung komplex und zeitaufwendig sein kann, aber trotzdem hinsichtlich Auslegung, Herstellung und Fertigung für den normalen Fachmann mit dem Vorteil dieser Offenlegung eine Routineaufgabe wäre.

[0018] Wenn Elemente verschiedener Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die Artikel «einer, eines, eine», «der, die, das» und «besagter, besagte, besagtes» die Bedeutung haben, dass eines oder mehrere von den Elementen vorhanden sein kann. Die Begriffe «aufweisend», «enthaltend» und «habend» sollen einschliessend sein und die Bedeutung haben, dass zusätzliche weitere Elemente ausser den aufgelisteten Elementen vorhanden sein können.

[0019] Wie nachstehend im Detail diskutiert, verdichten offengelegte Ausführungsformen einen heizwertarmen Brennstoff wenigstens teilweise durch einen Gasturbinenverdichter einer Gasturbinenmaschine. Die Verwendung eines Gasturbinenverdichters kann auch einen getrennten Verdichter ergänzen, der dafür eingerichtet ist, einen Teil des heizwertarmen Brennstoffs zu verdichten. Auf diese Weise kann die Nutzung des Gasturbinenverdichters zur Verdichtung von heizwertarmem Brennstoff die von dem Verdichter für heizwertarmen Brennstoff benötigte Leistung erheblich verringern oder eliminieren, um dadurch den Wirkungsgrad des Turbinensystems zu erhöhen. Insbesondere kann gasförmiger Brennstoff mit niedrigem Heizwert in den Gasturbinenverdichter eingespritzt werden. In einer derartigen Konfiguration dient der Gasturbinenverdichter zum Verdichten und Vermischen des Brennstoffes und der Luft vor der Injektion in einen Brenner, um dadurch die direkte Injektion in den Brenner zu verringern oder zu eliminieren. Demzufolge kann ein kleinerer/leistungsschwächerer Brennstoffverdichter verwendet werden, und in einigen Fällen kann der Brennstoffverdichter weggelassen werden. Wie nachstehend im Detail diskutiert, enthält der Turbinenverdichter bestimmte Merkmale, die dafür eingerichtet sind, die Vermischung von Brennstoff und Luft zu verbessern, um dadurch den Turbinensystemwirkungsgrad zu steigern, Emissionen regulierter Abgasprodukte zu verringern und die Möglichkeit einer Selbstzündung in dem Verdichter erheblich zu verringern oder zu eliminieren. In einer Ausführungsform enthält der Verdichter eine Rückführungsanordnung für gasförmigen Brennstoff, die dafür eingerichtet ist, Brennstoff in eine stromaufwärts befindliche Stufe des Gasturbinenverdichters einzuspritzen. Die Rückführungsanordnung ist auch dafür eingerichtet, ein Brennstoff/Luft-Gemisch aus einer stromabwärts befindlichen Verdichterstufe zu entnehmen und das Gemisch wiederum in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspritzen. Diese Konfiguration kann die Vermischung des Brennstoffes und der Luft in dem Verdichter erhöhen, was die Leistung des Turbinensystems weiter verbessert.

[0020] In weiteren Ausführungsformen kann der Gasturbinenverdichter mehrere radiale Vorsprünge enthalten, die um einen Umfang des Gasturbinenverdichters herum angeordnet sind. Jeder radiale Vorsprung kann mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff enthalten, die dafür eingerichtet sind, Brennstoff mit niedrigem Heizwert in den Verdichter einzuspritzen. In bestimmten Ausführungsformen sind die radialen Vorsprünge Leitschaufeln oder Laufschaufeln, die besonders für die Injektion von gasförmigem Brennstoff in den Verdichter eingerichtet sind. In weiteren Ausführungsformen enthält der Verdichter Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff, die stromabwärts von einem Lufteinlass angeordnet sind. Die Injektion von Brennstoff stromabwärts von dem Einlass kann eine verbesserte Vermischung von Brennstoff und Luft in dem Verdichter aufgrund des multidirektionalen Hochgeschwindigkeitsluftströmungsmusters in dem Verdichter ermöglichen. Die gesteigerte Vermischung von Brennstoff und Luft kann den Turbinensystemwirkungsgrad im Vergleich zu Ausführungsformen verbessern, in welchem der Brennstoff an dem Verdichtereinlass eingespritzt wird. Zusätzlich kann, da die verbesserte Vermischung die Möglichkeit einer Selbstzündung verringert, zusätzlicher Brennstoff an den Verdichter geliefert werden, um dadurch die von dem Brennstoffverdichter benötigte Leistung erheblich zu verringern oder zu eliminieren.

[0021] In den Zeichnungen und zuerst in Fig. 1 ist eine Blockdarstellung einer Ausführungsform eines Gasturbinensystems 10 dargestellt. Das Turbinensystem 10 enthält eine Brennstoffdüse 12, eine Zuführungseinrichtung 14 für heizwertarmen Brennstoff und einen Brenner 16. Gemäss Darstellung führt die Brennstoffzuführungseinrichtung 14 Brennstoff mit niedrigem Heizwert, wie z.B. Koksofengas (COG), Hochofengas (BFG), vergaste Biomasse (z.B. Ethanol) oder verdünnten Brennstoff mit hohem Brennwert (z.B. mit Luft verdünntes Erdgas) dem Turbinensystem 10 über die Brennstoffdüse 12 in den Brenner 16 zu. Wie zu erkennen ist, kann ein Heizwert dazu genutzt werden, die Energieeigenschaften eines Brennstoffes zu definieren. Beispielsweise kann der Heizwert eines Brennstoffes als die durch Verbrennung einer spezifizierten Menge von Brennstoff freigesetzte Wärmemenge definiert werden. Insbesondere kann ein unterer Heizwert (LHV) als die Wärmemenge definiert werden, die durch Verbrennung einer spezifizierten Brennstoffmenge (z.B. ursprünglich bei 25° C oder einem anderen Bezugszustand) und Rückführung der Temperatur der Verbrennungsprodukte auf eine Soll-Temperatur (z.B. einer 150 °C) freigesetzt wird. Eine exemplarische Einheit zum Messen des LHV ist die British Thermal Unit (BTU) per Standard cubic feet (scf), wie z.B. BTU/scf. Ein «Standard cubic feet (scf)» kann als ein Mass für eine Menge eines Gases gleich einem Volumen von einem Kubikfuss bei 60 °F und entweder 14,696 pound per Square inch (1 atm)

oder 14, 73 PSI (30 in Hg) Druck definiert werden. In der nachstehenden Diskussion werden LHV und/oder BTU-Werte (z.B. niedrig oder hoch) dazu genutzt, um den Heizwert verschiedener Brennstoffe anzugeben, wobei dies jedoch in keiner Weise einschränkend sein soll. Jeder andere Wert kann zur Kennzeichnung der Energie und/oder Wärmeabgabe von Brennstoffen innerhalb des Schutzzumfangs der offengelegten Ausführungsformen verwendet werden. In der vorliegenden Ausführungsform kann der heizwertarme (Low BTU) Brennstoff einen LHV von weniger als 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, oder 500 BTU/scf haben. Beispielsweise kann der LHV des heizwertarmen Brennstoffes angenähert zwischen 25 bis 500, 50 bis 400 oder etwa 75 bis 350 BTU/scf liegen. In alternativen Ausführungsformen kann die Brennstoffzuführungseinrichtung einen heizwertreichen (High BTU) Brennstoff, wie z.B. Erdgas, mit einem LHV von angenähert zwischen 600 bis 1500, 700 bis 1350 oder etwa 800 bis 1200 BTU/scf an die nachstehend beschriebenen Turbinensystemkomponenten liefern.

[0022] Wie nachstehend diskutiert, ist der Brenner 16 dafür eingerichtet, den Brennstoff mit verdichteter Luft zu vermischen. Der Brenner 16 zündet und verbrennt das Brennstoff/Luft-Gemisch und leitet dann das heisse unter Druck stehende Abgas in eine Turbine 18. Das Abgas passiert die Turbinenlaufschaufeln der Turbine 18, um dadurch die Turbine drehend anzutreiben. Die Verbindung der Laufschaufeln in der Turbine 18 und einer Welle 20 bewirkt die Drehung der Welle 20, welche mit mehreren Komponenten durch das gesamte Turbinensystem 10 hindurch gemäss Darstellung verbunden ist. Schliesslich kann das Abgas des Verbrennungsprozesses das Turbinensystem 10 über einen Abgasauslass 22 verlassen.

[0023] In einer Ausführungsform des Turbinensystems 10 sind Verdichterlaufschaufeln als Komponenten eines Verdichters 24 enthalten. Die Laufschaufeln in dem Verdichter 24 können mit der Welle 20 verbunden sein und drehen sich, sobald die Welle 20 drehend durch die Turbine 18 angetrieben wird. Der Verdichter 24 kann Luft in das Turbinensystem 10 über einen Lufteinlass 26 aufnehmen. Ferner kann die Welle 20 mit einer Last 28 verbunden sein, welche über die Drehung der Welle 20 angetrieben wird. Wie zu erkennen ist, kann die Last 28 jede geeignete Einrichtung sein, die Energie über die Rotationsleistungsabgabe des Turbinensystems 10 erzeugen kann, wie z.B. eine Stromerzeugungsanlage oder eine externe mechanische Last. Beispielsweise kann die Last 28 einen elektrischen Generator, einen Propeller eines Flugzeugs usw. beinhalten. Der Lufteinlass 26 saugt Luft 30 über einen geeigneten Mechanismus, wie z.B. einen Kaltlufteinlass, in das Turbinensystem 10. Die Luft 30 strömt dann durch die Laufschaufeln des Verdichters 24, welcher verdichtete Luft 32 an den Brenner 16 liefert. Insbesondere werden die verdichtete Luft 32 und der Brennstoff 14 direkt in den Brenner 16 zur Vermischung und Verbrennung eingespritzt.

[0024] Gemäss Darstellung wird der heizwertarme Brennstoff 14 sowohl der Brennstoffdüse 12 als auch dem Verdichter 24 zugeführt. Wie zu erkennen ist, kann heizwertarmer gasförmiger Brennstoff vor der Injektion in den Brenner 16 verdichtet werden, um die Energiedichte des Brennstoffes zu erhöhen und dadurch den Verbrennungsprozess zu verbessern. Daher verdichtet ein Brennstoffverdichter 34 den heizwertarmen Brennstoff 14, um einen verdichteten Brennstoffstrom 36 an die Brennstoffdüse 12 zu liefern. Ferner wird unverdichteter heizwertarmer Brennstoff 38 direkt in den Verdichter 24 eingeführt. Wie nachstehend im Detail diskutiert, kann eine Pumpe vorgesehen sein, um den Druck des Brennstoffstroms 38 so zu erhöhen, dass der Brennstoffdruck grösser als der Luftdruck in dem Verdichter 24 ist.

[0025] Der heizwertarme Brennstoff kann in den Verdichter 24 durch ein Verdichtergehäuse, eine Verdichternabe und/oder radiale Vorsprünge, wie z.B. stationäre Leitschaufeln oder rotierende Laufschaufeln, eingespritzt werden. Ferner kann der heizwertarme Brennstoff stromabwärts von einem Verdichtereinlass eingespritzt werden. Eine derartige Konfiguration kann eine verbesserte Vermischung von Brennstoff und Luft in dem Verdichter 24 im Vergleich zu Konfigurationen ermöglichen, in welchen der heizwertarme Brennstoff bei dem Verdichtereinlass eingespritzt wird. Wie nachstehend im Detail diskutiert, kann die verbesserte Vermischung die Möglichkeit einer Selbstzündung verringern und dadurch die maximal zulässige Brennstoffkonzentration erhöhen. Daher können grössere Brennstoffmengen durch den Verdichter 24 eingespritzt werden, während gleichzeitig die Möglichkeit einer Selbstzündung des Brennstoff/Luft-Gemisches begrenzt wird.

[0026] Um eine weitergehende Vermischung zu ermöglichen, kann eine Rückführungsanordnung 40 für gasförmigen Brennstoff mit dem Verdichter 24 verbunden sein. Diese Anordnung 40 entnimmt ein Brennstoff/Luft-Gemisch aus einer stromabwärts befindlichen Verdichterstufe und spritzt das Gemisch wiederum in eine stromaufwärts befindliche Verdichterstufe ein. Ein derartiges System kann eine gesteigerte Vermischung des Brennstoffes und der Luft erzeugen und dadurch die Möglichkeit einer Selbstentzündung weiter verringern und den maximal zulässigen Brennstoffstrom in dem Verdichter 24 erhöhen. Wie zu erkennen ist, kann die Injektion von heizwertarmem Brennstoff in den Verdichter 24 die von dem Verdichter 34 an die Brennstoffdüse 12 gelieferte Brennstoffmenge 36 verringern oder erübrigen. Beispielsweise kann die vorliegende Ausführungsform einen kleineren/leistungsschwächeren Verdichter 34 verwenden, um den Brennstoff vor der Lieferung an die Brennstoffdüse 12 zu verdichten. Demzufolge muss weniger Energie für den Antrieb des Verdichters 34 aufgewendet werden, um dadurch die Gesamtleistungsabgabe des Turbinensystems 10 zu verbessern. In bestimmten Ausführungsformen kann der Verdichter 34 in den Abmessungen und/oder Leistungsanforderungen um wenigstens angenähert 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 oder 90 % verringert werden.

[0027] Wie zu erkennen ist, kann sich, wenn das Gasturbinensystem 10 mit heizwertarmen Brennstoffen betrieben wird, ein Druckverhältnis einem Grenzwert für den Verdichter 24 annähern. Beispielsweise kann das Verdichterdruckverhältnis (z.B. das Verhältnis des den Verdichter 24 verlassenden Luftdruckes zu dem in den Verdichter 24 eintretenden Luftdruck) niedriger als das Druckverhältnis über der Turbine (z.B. das Verhältnis des in die Turbine 18 eintretenden Heissgasdruckes zu dem die Turbine 18 verlassenden Heissgasdruck) werden. Um den Verdichter 24 mit einem Druckverhältnisschutz zu

versehen (z.B. die Möglichkeit eines Strömungsabrisses des Verdichters 24 zu verringern, kann aus dem Verdichter 24 ausgegebene Luft mittels einer über Bord führenden Zapfleitung 37 abgelassen werden.

[0028] Die Menge der aus dem Verdichter 24 abgezapften Luft kann eine Funktion von Umgebungsbedingungen und der Gasturbinausgangsleistung sein. Insbesondere kann die abgezapfte Luftmenge bei niedrigeren Umgebungstemperaturen und niedrigeren Gasturbinenbelastungen zunehmen. Zusätzlich ist wie vorstehend beschrieben, in Gasturbinenanwendungen, die gasförmigen heizwertarmen Brennstoff 14 verwenden, die Durchflussrate des Brennstoffs 14 im Allgemeinen wesentlich höher als in vergleichbaren Ergasbrennstoff-Anwendungen. Dieses beruht hauptsächlich auf dem Umstand, dass mehr heizwertarmer Brennstoff verwendet werden muss, um eine vergleichbare Erwärmung oder gewünschte Feuerungstemperatur zu erzielen. Somit kann zusätzlicher Rückdruck auf den Verdichter 24 ausgeübt werden. In diesen Anwendungen kann die aus dem Verdichter 24 ausgegebene Luft ebenfalls abgeführt werden, um den Rückdruck zu verringern und die Strömungsabrissreserve (z.B. die Reserve oder den Auslegungsfehler für die Verhinderung eines Strömungsabrisses) des Verdichters 24 zu verbessern.

[0029] Das Ablassen von dem Verdichter 24 ausgegebener verdichteter Luft kann den Nettowirkungsgrad des Turbinensystems 10 verringern, da die zum Anheben des Druckes der Luft in dem Verdichter 24 aufgewendete Energie nicht durch die Brennkammer 16 und die Turbine 18 zurückgewonnen wird. Jedoch kann die vorliegende Ausführungsform durch Einspritzen von heizwertarmem Brennstoff 14 in den Verdichter 24 die Luftentnahme über die Leitung 37 erheblich verringern oder eliminieren. Insbesondere wird, da der eingespritzte Brennstoff 38 einen Teil der Luft in dem Verdichter 24 verdrängt, weniger Luft an den Brenner 16 geliefert. Demzufolge kann das gewünschte Druckverhältnis in dem Verdichter 24 ohne Ablassen von Luft oder ohne im Wesentlichen die Menge der Ablassluft zu verringern, erzeugt werden. Da weniger Luft aus dem Verdichter 24 im Vergleich zu Konfigurationen entnommen wird, in welchen kein Brennstoff in den Verdichter 24 eingespritzt wird, kann der Wirkungsgradverlust in Verbindung mit der Luftentnahme erheblich reduziert oder eliminiert werden.

[0030] Fig. 2 stellt eine Seitenschnittansicht einer Ausführungsform des Turbinensystems 10 dar. Wie dargestellt enthält die Ausführungsform den Verdichter 24, welcher mit einer ringförmigen Anordnung von Brennern 16, wie z.B. sechs, acht, zehn oder zwölf Brennern 16 verbunden ist. Jeder Brenner 16 enthält wenigstens eine Brennstoffdüse 12 (z.B. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10 oder mehr), welche einer in jedem Brenner 16 angeordneten Verbrennungszone ein Luft/Brennstoff-Gemisch zuführt. Die Verbrennung des Luft/Brennstoff-Gemisches in den Brennern 16 bewirkt eine Drehung der Laufschaufeln in der Turbine 18, während Abgas zu dem Abgasauslass 22 hin hindurchtritt. Wie nachstehend im Detail diskutiert, enthalten bestimmte Ausführungsformen des Verdichters 24 eine Vielfalt einzigartiger Merkmale, um eine verbesserte Vermischung von Luft und Brennstoff (z.B. heizwertarmen Brennstoff) in dem Verdichter 24 zu ermöglichen, um dadurch den Wirkungsgrad des Turbinensystems 10 zu steigern, die Emission regulierter Abgasprodukte zu verringern und die Möglichkeit einer Selbstzündung in dem Verdichter 24 erheblich zu verringern oder zu eliminieren. Ferner kann die verbesserte Mischung einen erhöhten Brennstoffstrom in den Verdichter 24 ermöglichen, und dadurch die Belastung für den Brennstoffverdichter 34 verringern und die Menge der entnommenen Luft vermindern.

[0031] Fig. 3 ist eine detaillierte Querschnittsansicht eines Abschnittes des Verdichters 24 entlang der Linie 3-3 von Fig. 2. Luft tritt in den Verdichter 24 durch einen Verdichtereinlass 41 ein und strömt entlang einer axialen Richtung 42 in einer Stromabwärtsrichtung 43. Die Luft passiert dann eine oder mehrere Verdichterstufen. Die Verdichterstufen 24 können beispielsweise 1 bis 25, 5 bis 20, 10 bis 20 oder 14 bis 18 Verdichterstufen beinhalten. Jede Verdichterstufe enthält Leitschaufeln 44 und Laufschaufeln 46, die sich aus einer Nabe 47 entlang einer radialen Richtung 48 erstrecken. In bestimmten Konfigurationen sind die Leitschaufeln 44 und Laufschaufeln 46 im Wesentlichen in gleichem Abstand in einer Umfangsrichtung 50 um den Verdichter 24 herum angeordnet. Die Leitschaufeln 44 sind starr an dem Verdichter 24 befestigt und dafür eingerichtet, Luft auf die Laufschaufeln 46 zu lenken. Die Laufschaufeln 46 werden zur Drehung durch die Welle 20 angetrieben. Sobald Luft jede Verdichterstufe passiert, nimmt der Luftdruck zu, um dadurch den Brenner 16 mit ausreichend Luft für eine einwandfreie Verbrennung zu versorgen.

[0032] Wie vorstehend diskutiert, wird eine Pumpe 52 verwendet, um dem Verdichter 24 heizwertarmen Brennstoff 14 zuzuführen. Insbesondere erhöht die Pumpe 52 den Druck des heizwertarmen Brennstoffes dergestalt, dass der Ausgabebrennstoffdruck grösser als der Luftdruck in dem Verdichter 24 an dem Einspritzpunkt ist. Daher ist der Druck der stromabwärts befindlichen Stufe (d.h., der Stufe, die entlang der Stromabwärtsrichtung 43 positioniert ist) grösser als der Druck einer stromaufwärts befindlichen Stufe (d.h., einer Stufe, die entlang der Stromaufwärtsrichtung 45 positioniert ist). Gemäss Darstellung wird der gasförmige heizwertarme Brennstoff in die erste Stufe des Verdichters 24 eingespritzt. Daher kann die Pumpe 52 einen grösseren Druck als den Luftdruck in der ersten Stufe erzeugen. Ebenso kann, wenn der gasförmige heizwertarme Brennstoff an eine stromabwärts befindliche Stufe geliefert werden würde, die Pumpe 52 einen höheren Brennstoffdruck erzeugen, der dafür ausreicht, Brennstoff in die stromabwärts befindliche Stufe einzuspritzen. Wie zu erkennen ist, kann zum Verringern der Pumpenkapazität die Injektion von Brennstoff in bestimmten Ausführungsformen auf die stromaufwärts befindlichen Stufen des Verdichters 24 begrenzt werden.

[0033] Der unverdichtete heizwertarme Brennstoff 38 strömt durch eine Leitung 54 aus der Pumpe 52 zu dem Verdichter 24. Gemäss Darstellung enthält die vorliegende Ausführungsform eine Rückführungsanordnung 40 für gasförmigen Brennstoff, die dafür eingerichtet ist, ein Brennstoff/Luft-Gemisch aus einer stromabwärts befindlichen Verdichterstufe zu entnehmen und das Gemisch in eine stromaufwärts befindliche Verdichterstufe einzuspritzen. Insbesondere erstreckt sich eine Leitung 56 von einer stromabwärts befindlichen Verdichterstufe zu der Leitung 54. Da sich der an der stromaufwärts

befindlichen Stufe eingespritzte heizwertarme Brennstoff mit Luft in dem Verdichter 24 vermischt, ist ein Brennstoff/Luft-Gemisch 58 an der stromabwärts befindlichen Verdichterstufe vorhanden. Das Brennstoff/Luft-Gemisch 58 strömt durch die Leitung 56 in die Brennstoffleitung 54 und vermischt sich mit dem unverdichteten heizwertarmen Brennstoff 38. In bestimmten Konfigurationen enthält die Rückführungsanordnung 40 für gasförmigen Brennstoff eine Mischvorrichtung 60, die dafür eingerichtet ist, den Brennstoff und die Luft vor der Wiedereinjektion in den Verdichter 24 weiter zu vermischen. Wie zu erkennen ist, kann die Mischvorrichtung 60 verschiedene Strukturen, wie z.B. Dralleitschaufeln, gekrümmte Pfade, Prallströmungsanordnungen oder andere Strukturen enthalten, die für die Vermischung des Brennstoffs und der Luft eingerichtet sind.

[0034] Das Brennstoff/Luft-Gemisch 58 strömt dann in die Brennstoffleitung 54, wo es sich mit zusätzlichem Brennstoff 38 aus der Zuführungseinrichtung für heizwertarmen Brennstoff 14 vermischt. Wie dargestellt, passiert dann das mit Brennstoff angereicherte Gemisch 62 ein Gehäuse 64 des Verdichters 24 und tritt in die stromaufwärts befindliche Verdichterstufe ein. Dieser Vorgang wiederholt sich kontinuierlich, um die Vermischung zwischen dem Brennstoff und der Luft zu verbessern, während gleichzeitig heizwertarmer Brennstoff dem Verdichter 24 zugeführt wird. Wie zu erkennen ist, verläuft, da nur ein Teil des Brennstoffs aus der stromabwärts befindlichen Stufe entzogen wird, der restliche Brennstoff durch den Verdichter 24 und wird zusammen mit der Luft verdichtet. Das verdichtete Brennstoff/Luft-Gemisch strömt dann in den Brenner 16 und mischt sich vor der Zündung mit dem zusätzlichen Brennstoff aus der Brennstoffdüse 12. In bestimmten Konfigurationen wird ausreichend Brennstoff in den Verdichter 24 eingespritzt, sodass kein zusätzlicher Brennstoff durch die Brennstoffdüse 12 aus einem getrennten Brennstoffverdichter (z.B. dem Brennstoffverdichter 34) eingespritzt werden kann.

Eine derartige Anordnung kann den Wirkungsgrad des Turbinensystems 10 erhöhen, da der Brennstoffverdichter 34 weggelassen werden kann. Demzufolge muss keine zusätzliche Energie zum Verdichten des heizwertarmen Brennstoffs vor der Injektion aufgebracht werden, wodurch die Gesamtleistungsabgabe des Turbinensystems 10 erhöht wird. In Ausführungsformen, in welchen dem Brenner 16 Brennstoff über den Brennstoffverdichter 34 zugeführt wird, ist erkennbar, dass die Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eine Verringerung in der Grösse und/oder dem Leistungsverbrauch des Verdichters 34 ermöglichen kann, um dadurch den Wirkungsgrad des Turbinensystems 10 zu erhöhen. Wie vorstehend diskutiert, kann die Lieferung von Brennstoff in den Verdichter 24 die in Verbindung mit der Verbrennung von heizwertarmen Brennstoffen erfolgende Luftentnahme erheblich verringern oder eliminieren.

[0035] Ferner kann eine Vermischung des Brennstoff/ Luft-Gemisches in dem Verdichter 24 und/oder der Mischvorrichtung 60 Emissionen verschiedener regulierter Abgasprodukte wie z.B. von Stickstoffoxiden (NO_x), Schwefeloxiden (SO_x) und/oder Kohlenmonoxid (CO) neben anderen Abgasemissionen aufgrund einer verbesserten Brennstoff/Luft-Verteilung verringern. Die verbesserte Vermischung kann auch den Wirkungsgrad des Turbinensystems 10 im Vergleich zu Konfigurationen steigern, in welchen der Brennstoff und die Luft alleine in den Brennern 16 und/oder der Brennstoffdüse 12 vermischt werden. Wie zu erkennen ist, kann eine verbesserte Vermischung die Menge des Brennstoffes erhöhen, der mit der Luft während des Verbrennungsprozesses reagiert, um dadurch die Freisetzung von Energie aus dem Brennstoff verbessern. Ferner kann eine verbesserte Brennstoff/Luft-Vermischung das Austreten von unverbranntem Brennstoff aus dem Turbinensystem 10 erheblich verringern oder eliminieren.

[0036] Zusätzlich kann, da das Brennstoffgemisch stromabwärts von dem Verdichtereinlass 41 eingespritzt wird, der zirkulierende Luftstrom von den Leitschaufeln 44 und den Laufschaufeln 46 dazu dienen, den Brennstoff gleichmässig in den Verdichter 24 zu verteilen. Wie zu erkennen ist, können Konfigurationen, in welchen der Brennstoff durch den Turbineneinlass 41 eingespritzt wird, eine Selbstentzündung oder Zündung des Brennstoff/Luft-Gemisches in dem Verdichter 24 bei hohen Brennstoffdurchflussraten erfahren. Insbesondere kann sich, wenn eine spezielle Konzentration von Brennstoff und Luft einer Wärmequelle ausgesetzt wird, das Brennstoff/Luft-Gemisch entzünden. Um zu verhindern, dass sich Brennstoff in dem Verdichter 24 aufgrund der Wärme in Verbindung mit der Verdichtung entzündet, kann die Konzentration des Brennstoffes auf einen Wert unter dem Selbstentzündungspunkt begrenzt werden. In Ausführungsformen, in welchen der Brennstoff durch den Verdichtereinlass 41 injiziert wird, können lokale Bereiche mit hoher Brennstoffkonzentration aufgrund einer ineffektiven Mischung von Brennstoff und Luft entstehen. Demzufolge kann die Gesamtbrennstoff-Konzentration auf weniger als angenähert 20 % begrenzt werden. Im Gegensatz dazu kann aufgrund der verbesserten Vermischung in Verbindung mit der Injektion des Brennstoffs stromabwärts von dem Verdichtereinlass 41 die Gesamtbrennstoff-Konzentration in der vorliegenden Ausführungsform wenigstens angenähert 25% bis 50%, 30% bis 45%, 35 bis 40% oder etwa 35% sein. Insbesondere kann die verbesserte Vermischung die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung lokaler Bereiche mit einer Brennstoffkonzentration über dem Selbstzündungsgrenzwert verringern. Da eine grössere Menge an Brennstoff in den Verdichter 24 injiziert werden kann, kann weniger Brennstoff in den Brennstoffverdichter 34 injiziert werden, um dadurch der Wirkungsgrad des Turbinensystems 10 zu erhöhen. Zusätzlich kann der grössere Brennstoffdurchsatz durch den Verdichter 24 eine verringerte Luftentnahme ermöglichen, und dadurch den Wirkungsgrad des Turbinensystems weiter erhöhen.

[0037] Während die Brennstoffleitung 54 zum Injizieren von Brennstoff zwischen der Leitschaufel 44 der ersten Stufe und der Laufschaufel 46 der ersten Stufe in der vorliegenden Ausführungsform positioniert ist, können alternative Ausführungsformen Brennstoffleitungen 54 enthalten, die dafür eingerichtet sind, Brennstoff in andere Bereiche des Verdichters 24 zu injizieren. Beispielsweise kann der Brennstoff stromaufwärts von der Leitschaufel 44 der ersten Stufe und/oder stromabwärts von der Laufschaufel 46 der ersten Stufe injiziert werden. Ferner kann Brennstoff in eine beliebige von mehreren

stromabwärts befindlichen Verdichterstufen wie z.B. die Stufen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 usw. injiziert werden. Jedoch muss unabhängig davon, wo der Brennstoff injiziert wird, die Rückführungsanordnung 40 ein Brennstoff/Luft-Gemisch aus einer stromabwärts befindlichen Stufe entnehmen und das Brennstoff/Luft-Gemisch wieder in eine stromaufwärts befindliche Stufe zu injizieren. In bestimmten Ausführungsformen entspricht die Stufe, in welche der Brennstoff zuerst injiziert wird, nicht der Stufe, in welche das Brennstoff/Luft-Gemisch wieder injiziert wird. Beispielsweise kann in einer Ausführungsform der Brennstoff in die erste Stufe injiziert werden, das Brennstoff/Luft-Gemisch aus der dritten Stufe entnommen werden und das Brennstoff/Luft-Gemisch wieder in die zweite Stufe injiziert werden. Eine derartige Konfiguration kann eine verbesserte Vermischung des Brennstoffs und der Luft bereitstellen.

[0038] Fig. 4 ist eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch ein Verdichtergehäuse und eine Verdichternabe gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt. Gemäss Darstellung strömt heizwertarmer Brennstoff 38 aus einem Verteiler 66 zu individuellen Leitungen 68, die sich in dem Verdichtergehäuse 64 erstrecken. In der vorliegenden Konfiguration erstreckt sich eine erste Leitung 68 zu einem Bereich stromaufwärts (d.h., entlang der Stromaufwärtsrichtung 45) von der Leitschaukel 44 der ersten Stufe, eine zweite Leitung 68 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Leitschaukel 44 der ersten Stufe und der Laufschaufel 46 der ersten Stufe, eine dritte Leitung 68 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Laufschaufel 46 der ersten Stufe und der Leitschaukel 44 der zweiten Stufe und eine vierte Leitung 68 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Leitschaukel 44 der zweiten Stufe und der Laufschaufel 46 der zweiten Stufe. Wie zu erkennen ist, können mehr oder weniger Leitungen 68 in alternativen Ausführungsformen verwendet werden. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 oder mehr Leitungen 68 enthalten, die sich zu verschiedenen Bereichen entlang der axialen Richtung 42 erstrecken. Ferner können sich Leitungen 68 um den Verdichter 24 entlang einer Umfangsrichtung 50 erstrecken. Beispielsweise können 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 oder mehr Leitungen 68 um den Umfang des Verdichters 24 an jeder axialen Stelle angeordnet sein. Zusätzlich können, obwohl sich die Leitungen 68 zu Bereichen zwischen den Leitschaukeln 44 und Laufschaufeln 46 in der vorliegenden Ausführungsform erstrecken, alternative Ausführungsformen Leitungen 68 enthalten, die das Gehäuseinnere an der ungefähren Position einer Leitschaukel 44 oder Laufschaufel 46 schneiden.

[0039] Die vorliegende Erfindung ermöglicht auch die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch die Verdichternabe 47. Ähnlich zu der Injektion durch das Gehäuse 64 tritt gasförmiger heizwertarmer Brennstoff durch einen Verteiler 70 in mehrere entlang der axialen Richtung 42 des Verdichters 24 angeordnete Leitungen 72 ein. Gemäss Darstellung erstreckt sich eine erste Leitung 72' zu einem Bereich stromaufwärts (d.h., entlang der Stromaufwärtsrichtung 45) von der Leitschaukel 44 der ersten Stufe, eine zweite Leitung 72 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Leitschaukel 44 der ersten Stufe und der Laufschaufel 46 der ersten Stufe, eine dritte Leitung 72 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Laufschaufel 46 der ersten Stufe und der Leitschaukel 44 der zweiten Stufe und eine vierte Leitung 72 erstreckt sich zu einem Bereich zwischen der Leitschaukel 44 der zweiten Stufe und der Laufschaufel 46 der zweiten Stufe. Wie zu erkennen ist, können mehr oder weniger Leitungen 72 in alternativen Ausführungsformen verwendet werden. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 oder mehr Leitungen 72 enthalten, die sich zu verschiedenen Bereichen entlang der axialen Richtung 42 erstrecken. Ferner können sich Leitungen 72 um den Verdichter 24 entlang einer Umfangsrichtung 50 erstrecken. Beispielsweise können 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 oder mehr Leitungen 72 um den Umfang des Verdichters 24 an jeder axialen Stelle angeordnet sein. Zusätzlich können, obwohl sich die Leitungen 72 zu Bereichen zwischen den Leitschaukeln 44 und Laufschaufeln 46 in der vorliegenden Ausführungsform erstrecken, alternative Ausführungsformen Leitungen 72 enthalten, die das Gehäuseinnere an der ungefähren Position einer Leitschaukel 44 oder Laufschaufel 46 schneiden. Ferner erkennt man, dass der Pfad des Verteilers 70 und der Leitungen 72 durch den Verdichter 24 auf der Basis einer Verdichterkonfiguration variieren kann. Wie zu erkennen ist, enthalten Verdichter 24 eine Vielfalt sich bewogender Teile. Der Pfad des Verteilers 70 und der Leitungen 72 kann gewählt werden, dass derartige sich bewogende Teile vermieden werden, sodass der Verteiler 70 und die Leitungen 72 nicht den Betrieb des Verdichters 24 stören.

[0040] Ferner können bestimmte Ausführungsformen dafür eingerichtet sein, gasförmigen heizwertarmen Brennstoff sowohl aus der Nabe 47 als auch aus dem Gehäuse 64 zu injizieren, während andere Ausführungsformen den Brennstoff nur durch die Nabe 47 oder das Gehäuse 64 zu injizieren. In jeder Konfiguration wird der gasförmige Brennstoff stromaufwärts (d.h., entlang der Stromaufwärtsrichtung 43) von dem Verdichtereinlass 41 injiziert. Wie vorstehend diskutiert, kann die Injektion des heizwertarmen Brennstoffes stromabwärts von dem Verdichtereinlass 41 eine verbesserte Vermischung des Brennstoffs und der Luft ermöglichen, und dadurch lokale Bereiche einer hohen Brennstoffkonzentration erheblich verringern oder eliminieren, die zu einer Selbstzündung führen können. Auf diese Weise können grössere Mengen von Brennstoff in den Verdichter 24 im Vergleich zu Konfigurationen injiziert werden, in welchen der Brennstoff durch den Verdichtereinlass 41 injiziert wird. Ferner kann die verbesserte Vermischung Emissionen regulierter Abgasprodukte verringern und den Turbinensystemwirkungsgrad verbessern.

[0041] Fig. 5 ist eine Seitenschnittansicht des Verdichtergehäuses 64 entlang der Linie 5-5 von Fig. 4. Gemäss Darstellung ist die Leitung 68 in einem Winkel in Bezug auf die Innenoberfläche des Verdichtergehäuses 64 angeordnet. Insbesondere bildet die Leitung 68 einen Winkel 74 in Bezug auf eine Linie 76, die sich entlang der radialen Richtung 48 erstreckt. In dieser Konfiguration kann gasförmiger heizwertarmer Brennstoff 78 entlang der axialen Richtung 42 und der radialen Richtung 48 injiziert werden. Wie man erkennt, kann der Winkel 74 neben anderen Faktoren auf der Basis der Verdich-

terkonfiguration und der Brennstoffzusammensetzung gewählt werden. Beispielsweise kann in bestimmten Ausführungsformen der Winkel 74 angenähert zwischen 0 bis 90, 10 bis 80, 20 bis 70, 30 bis 60, 40 bis 50 Grad oder etwa 45 Grad sein. In weiteren Ausführungsformen kann die Leitung 68 in einem Winkel zu der Stromaufwärtsrichtung 45 so angeordnet sein, dass der Luftstrom in der Stromabwärtsrichtung 43 auf den Brennstoffstrom auftrifft. Eine derartige Konfiguration kann eine verbesserte Vermischung des Brennstoffs und der Luft ermöglichen. Des Weiteren können alternative Konfigurationen die Leitung 68 in einem Winkel in der Umfangsrichtung 50 anordnen, um eine Drallströmung des Brennstoffs in den Verdichter 24 zu erzeugen. Obwohl Fig. 5 Leitungen 68 in dem Gehäuse 64 darstellt, wird man erkennen, dass Leitungen 72 in der Nabe 47 ebenfalls in ähnlicher Weise in einem Winkel in der axialen Richtung 42, der radialen Richtung 48 und/oder Umfangsrichtung 50 angeordnet werden können. Derartige Konfigurationen können eine verbesserte Vermischung des Brennstoffs und der Luft ermöglichen, und dadurch Emissionen verringern und den Wirkungsgrad des Gasturbinensystems 10 erhöhen. Zusätzlich kann die zusätzliche Vermischung einen erhöhten Brennstoffstrom in den Verdichter 24 ermöglichen und dadurch die Belastung für den Brennstoffverdichter 34 erheblich verringern oder eliminieren und die Luftentnahme aus dem Verdichter 24 erheblich verringern oder eliminieren.

[0042] Fig. 6 ist eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch stationäre Verdichterleitschaufeln 44 darstellt. Gemäss Darstellung enthält die vorliegende Ausführungsform einen Brennstoffverteiler 70 und Leitungen 72 ähnlich der unter Bezugnahme auf Fig. 4 beschriebenen Konfiguration. Jedoch erstrecken sich, statt Brennstoff direkt in den Verdichter 24 zu injizieren, die Kanäle 72 zu Verteilern 80 in den Verdichterleitschaufeln 44 oder zu anderen sich in den Verdichter 24 erstreckenden radialen Vorsprüngen. Kanäle 82 in den Leitschaufeln 44 erstrecken sich von dem Verteiler 80 zu einer stromabwärts befindlichen Seite der Leitschaufeln 44, um dadurch einen Strom von gasförmigem heizwertarmen Brennstoff in den Verdichter 24 zu ermöglichen. Gemäss Darstellung sind die Leitschaufeln 44 der ersten drei Verdichterstufen zur Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet. In alternativen Konfigurationen können nur die Leitschaufeln 44 der ersten Stufe und/oder Leitschaufeln 44 der zweiten Stufe dafür eingerichtet sein, Brennstoff in den Verdichter 24 zu injizieren. In weiteren Ausführungsformen können stromabwärts befindliche Leitschaufeln 44 dafür eingerichtet sein, Brennstoff in den Verdichter 24 zu injizieren. Ferner kann in alternativen Ausführungsformen Brennstoff an die Leitschaufeln 44 oder andere radiale Vorsprünge durch einen Verteiler 66 und Leitungen 68 geliefert werden, die das Gehäuse 64 passieren. In noch weiteren Ausführungsformen kann Brennstoff an die Leitschaufeln 44 durch sich durch das Gehäuse 64 erstreckende Kanäle 68 und sich durch die Nabe 47 erstreckende Kanäle 72 geliefert werden.

[0043] Obwohl sich die Kanäle 82 in der dargestellten Ausführungsform in der axialen Richtung 42 erstrecken, können alternative Ausführungsformen Kanäle 82 verwenden, die sich in der radialen Richtung 48 und/oder der Umfangsrichtung 50 erstrecken. Ferner können, wie nachstehend im Detail diskutiert, mehr oder weniger Kanäle 82 in jeder Leitschaufel 44 vorhanden sein. Zusätzlich kann die Form der Leitschaufel 44, die für die Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet ist, von herkömmlichen Leitschaufelauslegungen abweichen. Beispielsweise können die Leitschaufeln 44 breiter als herkömmliche Konfigurationen sein, um den Verteiler 80 und die Kanäle 82 aufzunehmen. Wie vorstehend diskutiert, sind die Leitschaufeln 44 um den Verdichter 24 herum in einer Umfangsanordnung angeordnet. Die Anzahl der Leitschaufeln 44 kann neben anderen Faktoren auf der Basis des Durchmessers des Verdichters 24 und der Kapazität des Verdichters 24 gewählt werden. In der vorliegenden Ausführungsform kann nur ein Teil der Leitschaufeln 44 den Verteiler 80 und die Kanäle 82 enthalten. Beispielsweise können 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 oder mehr Leitschaufeln 44 dafür eingerichtet sein, Brennstoff in den Verdichter 24 zu injizieren. In alternativen Ausführungsformen kann jede Leitschaufel 44 den Verteiler 80 und die Kanäle 82 zur Brennstoffinjektion in den Verdichter 24 enthalten.

[0044] In weiteren Ausführungsformen können bestimmte Leitschaufeln 44 durch andere zur Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtete radiale Vorsprünge ersetzt sein. Beispielsweise können 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 oder mehr individuelle Leitschaufeln 44 durch radiale Vorsprünge ersetzt sein, die um den Verdichter 24 entlang einer Umfangsrichtung 30 angeordnet sind. In bestimmten Konfigurationen können die Vorsprünge gleichmässig um den Umfang herum in Abstand angeordnet sein, um eine gleichmässige Verteilung des Brennstoffs in dem Verdichter 24 zu erzeugen. Die Form der Vorsprünge kann so gewählt sein, dass sie sowohl den Verteiler 80 als auch die Kanäle 82 aufnehmen und den Luftwiderstand verringern. Beispielsweise können die Vorsprünge flügel förmig, zylindrisch, elliptisch oder anderweitig eingerichtet sein, um den Luftwiderstand zu begrenzen und dadurch für einen effizienten Betrieb des Verdichters 24 zu sorgen.

[0045] Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen stationären Verdichterleitschaufel 44 mit mehreren Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff. Wie man erkennt, enthält jede Leitschaufel 44 eine Vorderkante 84, die an einem stromaufwärts befindlichen Ende (d.h., entlang der Stromaufwärtsrichtung 45) angeordnet ist, eine Hinterkante 86, die an einem stromabwärts befindlichen Ende (d.h., entlang der Stromabwärtsrichtung 43) angeordnet ist, eine Druckoberfläche 88 und eine Saugoberfläche 90. In der vorliegenden Ausführungsform sind Gasinjektionsöffnungen 92 auf der Vorderkante 84, Gasinjektionsöffnungen 94 auf der Hinterkante 86, Gasinjektionsöffnungen 96 auf der Druckoberfläche 88 und Gasinjektionsöffnungen 98 auf der Saugoberfläche 90 angeordnet. Im Betrieb kann gasförmiger heizwertarmer Brennstoff in die Leitschaufeln 44 durch den Verteiler 80 eintreten, durch einen Kanal 82 strömen und eine zugeordnete Öffnung 92, 94, 96 oder 98 verlassen. Bestimmte Ausführungsformen können nur Öffnungen an der Vorderkante 84, der Hinterkante 86, der Druckoberfläche 88 oder der Saugoberfläche 90 enthalten. Weitere Ausführungsformen können Öffnungen in jeder beliebigen Kombination der vorstehend beschriebenen Oberflächen enthalten. Beispielsweise können

bestimmte Ausführungsformen Öffnungen 96 auf der Druckoberfläche 88, Öffnungen 94 auf der Hinterkante 86 und Öffnungen 98 auf der Saugoberfläche 90 enthalten.

[0046] Ferner kann die Anzahl von Öffnungen auf jeder Oberfläche in alternativen Konfigurationen variieren. Beispielsweise können, obwohl die Druckoberfläche 88 zwei Spalten mit Öffnungen 96 enthält, die sich entlang der radialen Richtung 48 erstrecken, alternative Ausführungsformen mehr oder weniger Spalten enthalten. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder mehr Spalten mit Öffnungen 96 enthalten. In weiteren Ausführungsformen können die Öffnungen 96 in alternativen Konfigurationen, wie z.B. Reihen, konzentrischen Kreisen, einem spiralförmigen Muster oder einem zufälligen Muster neben anderen Konfigurationen angeordnet sein. Wie man erkennt, kann die Grösse der Öffnungen 96 speziell gewählt sein, um einen gewünschten Durchsatz und Strömungsgeschwindigkeit des Brennstoffs in den Verdichter 24 zu erzielen. Ebenso kann die Gesamtanzahl der Öffnungen 96 gewählt werden, dass sie einen gewünschten Brennstoffdurchsatz bereitstellen und den Brennstoffstrom durch den gesamten Verdichter 24 gleichmässig verteilen. Ferner können, obwohl eine Spalte von Öffnungen 98 • auf der Saugoberfläche 90 angeordnet ist, alternative Ausführungsformen Öffnungskonfigurationen ähnlich den unter Bezugnahme auf die Druckoberfläche 88 beschriebenen enthalten. Zusätzlich kann die Anzahl und Grösse der Öffnungen 92 auf der Vorderkante 84 und der Öffnungen 94 auf der Hinterkante 86 gewählt werden, dass sie eine geeignete Strömung und Verteilung des gasförmigen heizwertarmen Brennstoffs in dem Verdichter 24 erzeugen.

[0047] Fig. 8 ist eine Seitenschnittansicht des Verdichterbereichs entlang der Linie 3-3 von Fig. 2 ist, die die Injektion von gasförmigem Brennstoff durch rotierende Verdichterlaufschaufeln gemäss bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Technik darstellt. Wie man erkennt, kann, da die Verdichterlaufschaufeln 46 für eine Drehung in dem Verdichter 24 eingerichtet sind, das Brennstoffzuführungssystem für eine Anpassung an eine derartige Drehung eingerichtet werden. Insbesondere können sich Brennstoffleitungen 100 aus der Welle erstrecken und drehen, sobald die Laufschaufeln 46 drehend angetrieben werden. Beispielsweise kann in bestimmten Konfigurationen Brennstoff durch einen Kanal in der Welle zu den Leitungen 100 geführt werden, welche starr mit der Welle verbunden sind. Die Leitungen 100 können dann den heizwertarmen gasförmigen Brennstoff an einen Verteiler 102 in jeder Laufschaufel 46 transportieren. Die Verteiler 102 können wiederum den Brennstoff an Kanäle 104 in den Laufschaufeln 46 liefern. Auf diese Weise kann der heizwertarme gasförmige Brennstoff in den Verdichter 24 durch die Laufschaufeln 46 trotz der Drehung der Laufschaufeln 46 injiziert werden. Wie dargestellt, sind Laufschaufeln 46 der ersten drei Verdichterstufen für die Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet. In alternativen Konfigurationen können nur die Laufschaufeln 46 der ersten Stufe und/oder Laufschaufeln 46 der zweiten Stufe für eine Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet sein. In weiteren Ausführungsformen können die stromabwärts befindlichen Laufschaufeln 46 für die Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet sein.

[0048] Obwohl sich die Kanäle 104 in der dargestellten Ausführungsform in der axialen Richtung 42 erstrecken, können alternative Ausführungsformen Kanäle 104 verwenden, die sich in der radialen Richtung 48 und/oder der Umfangsrichtung 50 erstrecken. Ferner können, wie nachstehend im Detail diskutiert, mehr oder weniger Kanäle 104 in jeder Laufschaufel 46 vorhanden sein. Zusätzlich kann die Form der Laufschaufel 46, die für die Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet ist, von herkömmlichen Laufschaufelauslegungen abweichen. Beispielsweise können die Laufschaufeln 46 breiter als herkömmliche Konfigurationen sein, um den Verteiler 80 und die Kanäle 104 aufzunehmen. Wie vorstehend diskutiert, sind die Laufschaufeln 46 um den Verdichter 24 herum in einer Umfangsanordnung angeordnet. Die Anzahl der Laufschaufeln 46 kann neben anderen Faktoren auf der Basis des Durchmessers des Verdichters 24 und der Kapazität des Verdichters 24 gewählt werden. In der vorliegenden Ausführungsform kann nur ein Teil der Laufschaufeln 46 den Verteiler 80 und die Kanäle 104 enthalten. Beispielsweise können 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 oder mehr Laufschaufeln 46 dafür eingerichtet sein, Brennstoff in den Verdichter 24 zu injizieren. In alternativen Ausführungsformen kann jede Laufschaufel 46 den Verteiler 80 und die Kanäle 104 zur Brennstoffinjektion in den Verdichter 24 enthalten.

[0049] In weiteren Ausführungsformen können die Laufschaufeln 46 durch andere zur Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtete radiale Vorsprünge ersetzt sein. Beispielsweise können 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 oder mehr individuelle Laufschaufeln 46 durch radiale Vorsprünge ersetzt sein, die um den Verdichter 24 entlang einer Umfangsrichtung 30 angeordnet sind. In bestimmten Konfigurationen können die Vorsprünge gleichmässig um den Umfang herum in Abstand angeordnet sein, um eine gleichmässige Verteilung des Brennstoffs in dem Verdichter 24 zu erzeugen. Die Form der Vorsprünge kann so gewählt sein, dass sie sowohl den Verteiler 80 als auch die Kanäle 104 aufnehmen und den Luftwiderstand verringern. Beispielsweise können die Vorsprünge flügelförmig, zylindrisch, elliptisch oder anderweitig eingerichtet sein, um den Luftwiderstand zu begrenzen und dadurch für einen effizienten Betrieb des Verdichters 24 zu sorgen. Wie zu erkennen ist, können die rotierenden Vorsprünge oder Laufschaufeln 46 eine verbesserte Vermischung im Vergleich zur Injektion durch stationäre Vorsprünge oder Laufschaufeln 44 bereitstellen. Insbesondere kann die Rotationsbewegung der Brennstoffinjektionsöffnungen dazu dienen, den Brennstoff gleichmässiger in dem Verdichter 24 zu verteilen. Wie vorstehend diskutiert, kann die verbesserte Vermischung verringerte Turbinensystememissionen, verbesserten Wirkungsgrad und verbesserte Injektion in den Verdichter 24 ermöglichen. Daher können Ausführungsformen mit Brennstoffinjektion durch die Laufschaufeln 46 trotz der zusätzlichen Komplexität in Verbindung mit der Führung von Brennstoff durch rotierende Teile eingesetzt werden.

[0050] Fig. 9 ist eine perspektivische Ansicht einer exemplarischen rotierenden Verdichterlaufschaufel 46 mit mehreren Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff. Ähnlich zu den Laufschaufeln 44, enthält jede Laufschaufel 46 eine Vor-

derkante 106, die an einem stromaufwärts befindlichen Ende (d.h., entlang der Stromaufwärtsrichtung 45) angeordnet ist, eine Hinterkante 106, die an einem stromabwärts befindlichen Ende (d.h., entlang der Stromabwärtsrichtung 43) angeordnet ist, eine Druckoberfläche 110 und eine Saugoberfläche 112. In der vorliegenden Ausführungsform sind Gasinjektionsöffnungen 114 auf der Vorderkante 106, Gasinjektionsöffnungen 116 auf der Hinterkante 108, Gasinjektionsöffnungen 118 auf der Druckoberfläche 110 und Gasinjektionsöffnungen 120 auf der Saugoberfläche 112 angeordnet. Im Betrieb kann gasförmiger heizwertarmer Brennstoff in die Laufschaufeln 46 durch den Verteiler 102 eintreten, durch einen Kanal 104 strömen und eine zugeordnete Öffnung 114, 116, 118 oder 120 verlassen. Bestimmte Ausführungsformen können nur Öffnungen an der Vorderkante 106, der Hinterkante 108, der Druckoberfläche 110 oder der Saugoberfläche 112 enthalten. Weitere Ausführungsformen können Öffnungen in jeder beliebigen Kombination der vorstehend beschriebenen Oberflächen enthalten. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen Öffnungen 118 auf der Druckoberfläche 110, Öffnungen 116 auf der Hinterkante 108 und Öffnungen 120 auf der Saugoberfläche 112 enthalten.

[0051] Ferner kann die Anzahl von Öffnungen auf jeder Oberfläche in alternativen Konfigurationen variieren. Beispielsweise können, obwohl die Druckoberfläche 110 zwei Spalten mit Öffnungen 118 enthält, die sich entlang der radialen Richtung 48 erstrecken, alternative Ausführungsformen mehr oder weniger Spalten enthalten. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder mehr Spalten mit Öffnungen 118 enthalten. In weiteren Ausführungsformen können die Öffnungen 118 in alternativen Konfigurationen, wie z.B. Reihen, konzentrischen Kreisen, einem spiralförmigen Muster oder einem zufälligen Muster neben anderen Konfigurationen angeordnet sein. Wie man erkennt, kann die Grösse der Öffnungen 118 speziell gewählt sein, um einen gewünschten Durchsatz und Strömungsgeschwindigkeit des Brennstoffs in den Verdichter 24 zu erzielen. Ebenso kann die Gesamtanzahl der Öffnungen 118 gewählt werden, dass sie einen gewünschten Brennstoffdurchsatz bereitstellen und den Brennstoffstrom durch den gesamten Verdichter 24 gleichmässig verteilen. Ferner können, obwohl eine Spalte von Öffnungen 120 auf der Saugoberfläche 112 angeordnet ist, alternative Ausführungsformen Öffnungskonfigurationen ähnlich den unter Bezugnahme auf die Druckoberfläche 110 beschriebenen enthalten. Zusätzlich kann die Anzahl und Grösse der Öffnungen 114 auf der Vorderkante 106 und der Öffnungen 116 auf der Hinterkante 108 gewählt werden, dass sie eine geeignete Strömung und Verteilung des gasförmigen heizwertarmen Brennstoffs in dem Verdichter 24 erzeugen.

[0052] Weitere Ausführungsformen können eine Kombination verschiedener Brennstoffeininjektionskonfigurationen verwenden. Beispielsweise können bestimmte Ausführungsformen sowohl Leitschaufeln 44 als auch Laufschaufeln 46 verwenden, die zur Injektion von Brennstoff in den Verdichter 24 eingerichtet sind. Gemäss einem weiteren Beispiel können bestimmte Ausführungsformen Brennstoffeininjektionsanordnungen enthalten, die dafür eingerichtet sind, Brennstoff durch die Nabe 47, das Gehäuse 64, Leitschaufeln 44, Laufschaufeln 46, stationäre radiale Vorsprünge, rotierende radiale Vorsprünge oder beliebige Kombinationen davon zu injizieren. Die spezielle Anordnung kann für die Ermöglichung einer verbesserten Vermischung von Brennstoff und Luft in dem Verdichter 24 gewählt werden, um dadurch Emissionen regulierter Abgasprodukte zu verringern, den Turbinensystemwirkungsgrad zu verbessern und die Möglichkeit einer Selbstzündung in dem Verdichter 24 erheblich zu verringern oder zu eliminieren. Unabhängig von der speziellen Anordnung kann die Injektion von gasförmigem heizwertarmen Brennstoff in den Verdichter den Leistungsverbrauch durch den Brennstoffverdichter 34 verringern oder eliminieren und kann im Wesentlichen die Luftentnahme aus dem Verdichter 24 verringern oder eliminieren und dadurch den Gesamtwirkungsgrad des Turbinensystems 10 erhöhen.

[0053] Diese Beschreibung nutzt Beispiele, um die Erfindung einschliesslich der 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 patentierbare Schutzzumfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele umfassen, die für den Fachmann ersichtlich sind. Derartige weitere Beispiele sollen in dem Schutzzumfang 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.

[0054] Ein System 10 enthält einen Gasturbinenverdichter 24 mit mehreren um einen Umfang des Gasturbinenverdichters 24 herum angeordneten radialen Vorsprüngen 44, 46. Jeder radiale Vorsprung 44, 46 enthält mehrere Injektionsöffnungen 92, 94, 96, 98, 114, 116, 118, 120 für gasförmigen Brennstoff, die dafür eingerichtet sind, gasförmigen Brennstoff 38 in den Gasturbinenverdichter 24 einzuspeisen.

Bezugszeichenliste

[0055]

- 10 Gasturbinensystem
- 12 Brennstoffdüse
- 14 Zuführungsvorrichtung für heizwertarmen Brennstoff
- 16 Brenner
- 18 Turbine

20	Welle
22	Abgasauslass
24	Verdichter
26	Einlass
28	Last
30	Luft
32	verdichtete Luft
34	Brennstoffverdichter
36	verdichteter Brennstoffström
37	über Bord führende Luftabzapfleitung
38	unverdichteter heizwertarmer Brennstoff
40	Rückführungsanordnung für gasförmigen Brennstoff
41	Verdichtereinlass
42	axiale Richtung
43	Stromabwärtsrichtung
44	Verdichterleitschaufel
45	Stromaufwärtsrichtung
46	Verdichterlaufschaufel
47	Nabe
48	radiale Richtung
50	Umfangsrichtung
52	Pumpe
54	Leitung
56	Leitung
58	Brennstoff/Luft-Gemisch
60	Mischvorrichtung
62	mit Brennstoff angereichertes Gemisch
64	Verdichtergehäuse
66	Verteiler
68	Leitung
70	Verteiler
72	Leitung
74	Winkel
76	sich entlang der radialen Richtung erstreckende Linie
78	gasförmiger heizwertarmer Brennstoff
80	Verteiler

- 82 Kanal
- 84 Vorderkante einer Verdichterleitschaufel
- 86 Hinterkante einer Verdichterleitschaufel
- 88 Druckoberfläche einer Verdichterleitschaufel
- 90 Saugoberfläche einer Verdichterleitschaufel
- 92 Vorderkanten-Gasinjektionsöffnung
- 94 Hinterkanten-Gasinjektionsöffnung
- 96 Druckoberflächen-Gasinjektionsöffnung
- 98 Saugoberflächen-Gasinjektionsöffnung
- 100 Brennstoffleitung
- 102 Verteiler
- 104 Kanal
- 106 Vorderkante einer Verdichterlaufschaufel
- 108 Hinterkante einer Verdichterlaufschaufel
- 110 Druckoberfläche einer Verdichterlaufschaufel
- 112 Saugoberfläche einer Verdichterlaufschaufel
- 114 Vorderkanten-Gasinjektionsöffnung
- 116 Hinterkanten-Gasinjektionsöffnung
- 118 Druckoberflächen-Gasinjektionsöffnung
- 120 Saugoberflächen-Gasinjektionsöffnung

Patentansprüche

1. System (10), aufweisend:
einen Gasturbinenverdichter (24), der eine stromaufwärtige Stufe und eine stromabwärtige Stufe enthält; und
eine Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff in Fluidverbindung mit der stromaufwärtigen Stufe und der stromabwärtigen Stufe, wobei die Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff dafür eingerichtet ist, in die stromaufwärtige Stufe gasförmigen Brennstoff (38) einzuspeisen, aus der stromabwärtigen Stufe ein Brennstoff/Luft-Gemisch (58) zu entnehmen und das Brennstoff/Luft-Gemisch (62) wieder in die stromaufwärtige Stufe rückzuspeisen.
2. System (10) nach Anspruch 1, wobei die Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff eine Mischvorrichtung (60) ausserhalb des Gasturbinenverdichters (24) zum Mischen des Brennstoff/Luft-Gemisches (58) vor einer Rückspeisung in die stromaufwärtige Stufe aufweist.
3. System (10) nach Anspruch 1, wobei der gasförmige Brennstoff (38) einen heizwertarmen Brennstoff mit einem unteren Heizwert (LHV - Lower Heating Value) von angenähert 50-400 BTU per Standard Cubic Foot (scf) aufweist.
4. System (10) nach Anspruch 1, wobei die stromaufwärtige Stufe mehrere stationäre Leitschaufeln (44) aufweist, wovon jede mehrere Injektionsöffnungen (92, 94, 96, 98) für gasförmigen Brennstoff enthält, wobei jede stationäre Leitschaufel (44) mit der Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff in Fluidverbindung steht, und jede stationäre Leitschaufel (44) dafür eingerichtet ist, gasförmigen Brennstoff (38), das Brennstoff/Luft-Gemisch (62) oder eine Kombination davon in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspeisen.
5. System (10) nach Anspruch 1, wobei die stromaufwärts befindliche Stufe mehrere rotierende Laufschaufeln (46) aufweist, wovon jede mehrere Injektionsöffnungen (114, 116, 119, 120) für gasförmigen Brennstoff enthält, wobei jede rotierende Laufschaufel (46) mit der Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff in Fluidverbindung steht, und jede rotierende Laufschaufel (46) dafür eingerichtet ist, gasförmigen Brennstoff (38), das Brennstoff/Luft-Gemisch (62) oder eine Kombination davon in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspeisen.

6. System (10) nach Anspruch 1, wobei der Gasturbinenverdichter (24) ein um die stromaufwärtige Stufe und die stromabwärtige Stufe herum angeordnetes Gehäuse aufweist, wobei das Gehäuse (64) mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff jeweils in Fluidverbindung mit der Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff enthält, und jede Öffnung dafür eingerichtet ist, gasförmigen Brennstoff (38), das Brennstoff/Luft-Gemisch (62) oder eine Kombination davon in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspeisen.
7. System (10) nach Anspruch 1, wobei der Gasturbinenverdichter (24) eine mit der stromaufwärtigen Stufe und der stromabwärtigen Stufe verbundene Nabe (47) aufweist, wobei die Nabe (47) mehrere Injektionsöffnungen für gasförmigen Brennstoff jeweils in Fluidverbindung mit der Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff enthält, und jede Öffnung dafür eingerichtet ist, gasförmigen Brennstoff (38), das Brennstoff/Luft-Gemisch (62) oder eine Kombination davon in die stromaufwärts befindliche Stufe einzuspeisen.
8. System (10) nach Anspruch 1, das eine Pumpe (52) für gasförmigen Brennstoff in Fluidverbindung mit der Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff aufweist, wobei die Pumpe (52) für gasförmigen Brennstoff dafür eingerichtet ist, gasförmigen Brennstoff (38) an die Rückführungsanordnung (40) für gasförmigen Brennstoff bei einem höheren Druck als ein Druck in der stromaufwärts befindlichen Stufe des Gasturbinenverdichters (24) zu liefern.
9. System (10) nach Anspruch 1, das eine Gasturbine mit einem Gasturbinenverdichter (24) aufweist.
10. System (10), aufweisend:
einen Gasturbinenverdichter (24) mit mehreren um einen Umfang des Gasturbinenverdichters (24) herum angeordneten radialen Vorsprüngen (44, 46), wobei jeder radiale Vorsprung (44, 46) mehrere Injektionsöffnungen (92, 94, 96, 98, 114, 116, 118, 120) für gasförmigen Brennstoff enthält, die dafür eingerichtet sind, gasförmigen Brennstoff (38) in den Gasturbinenverdichter (24) einzuspeisen.

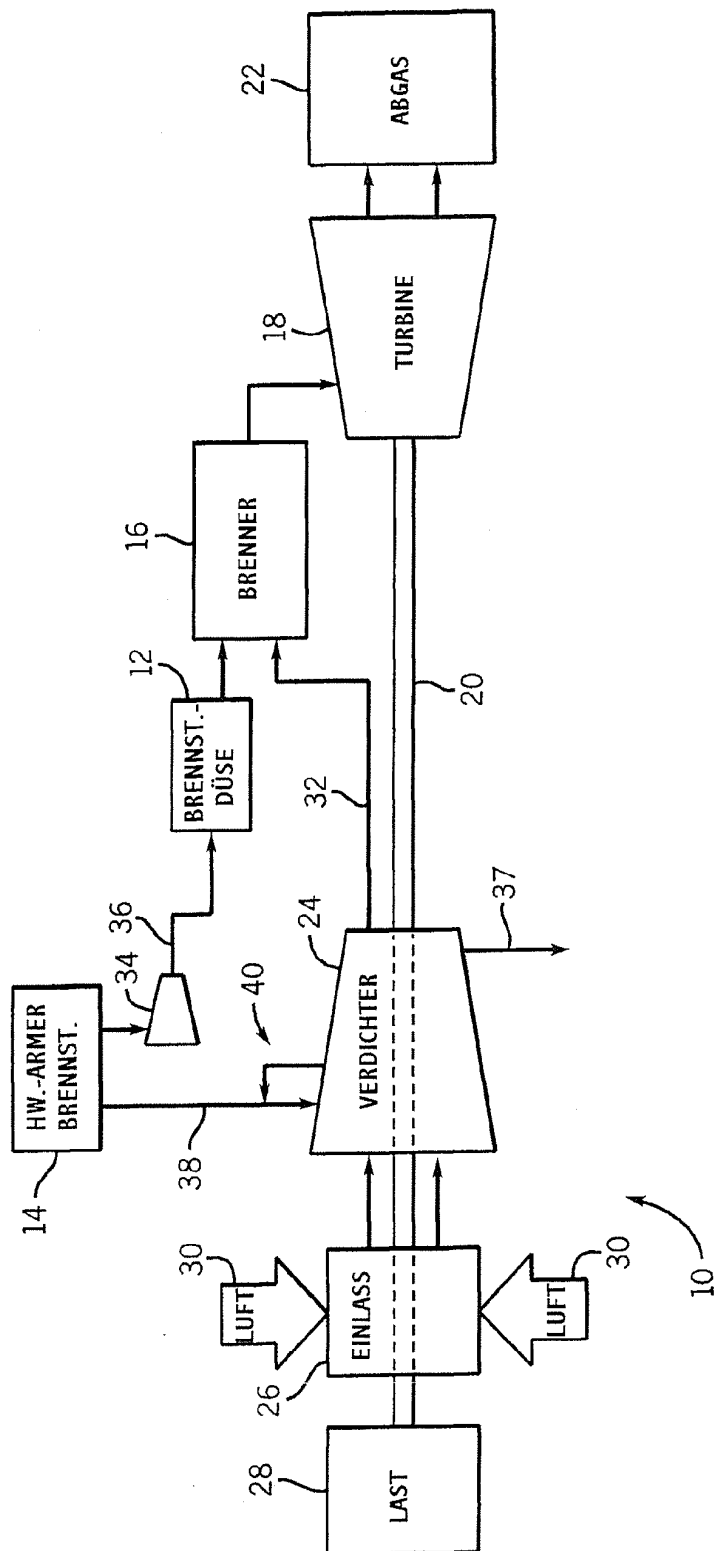


FIG. 1

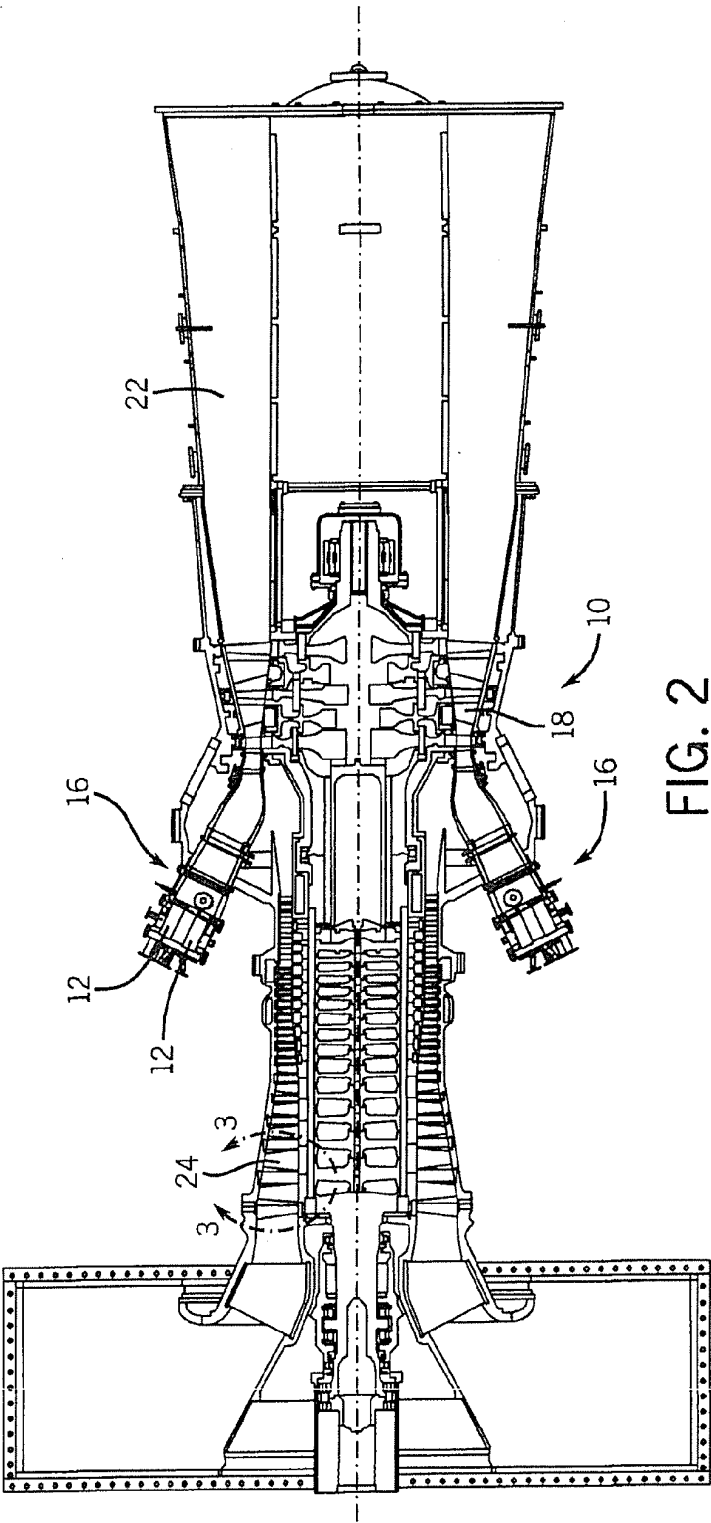


FIG. 2

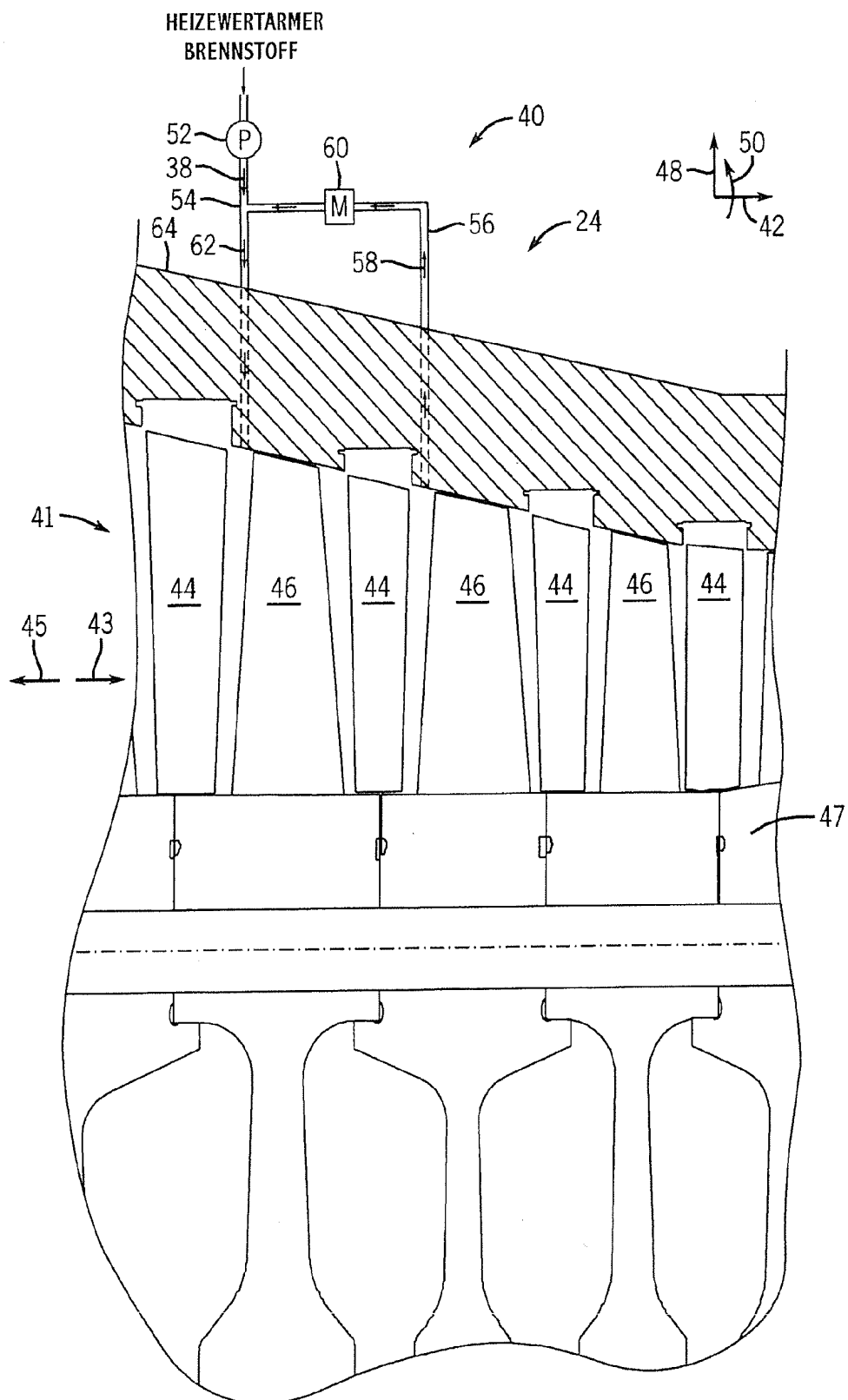


FIG. 3

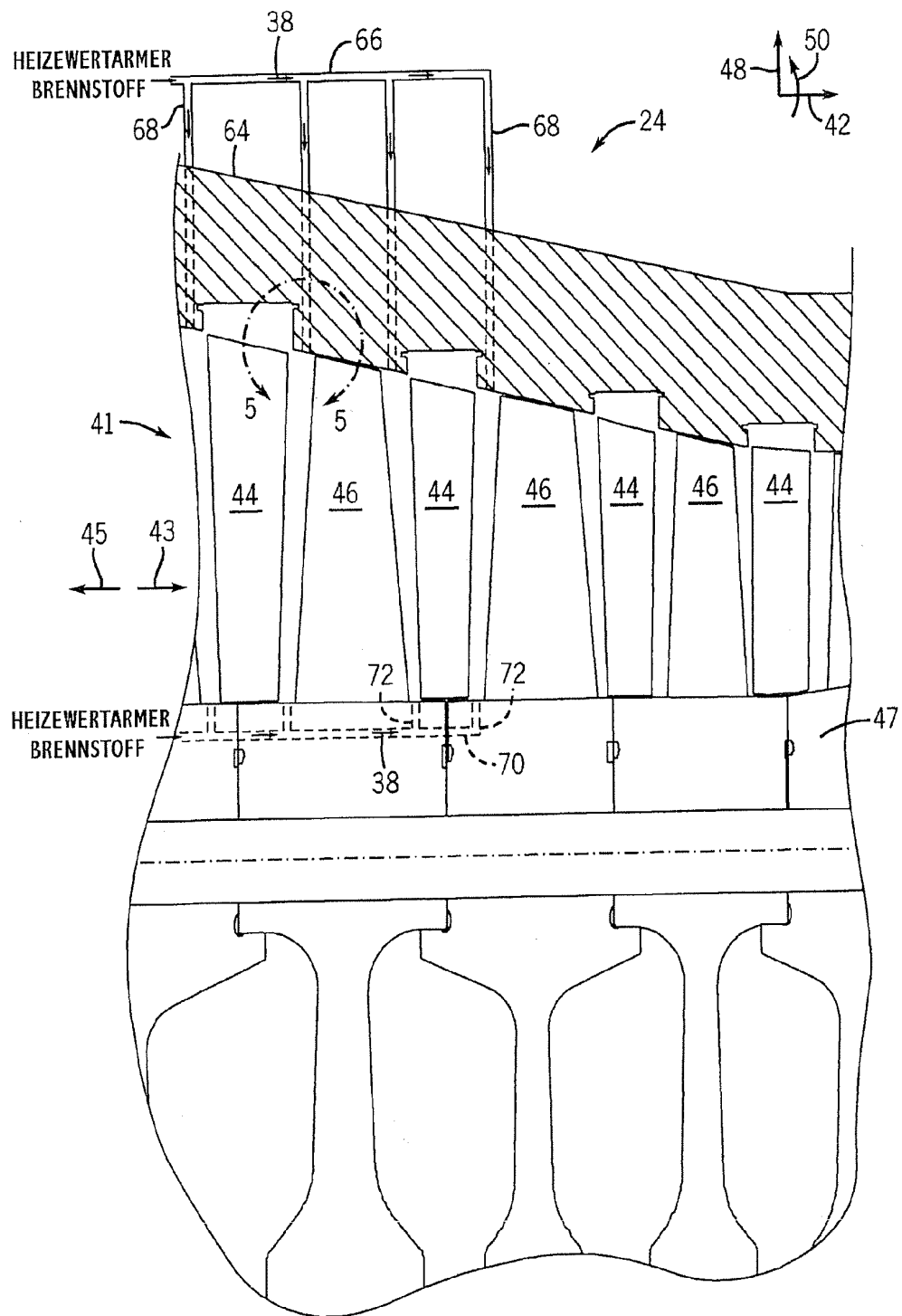


FIG. 4

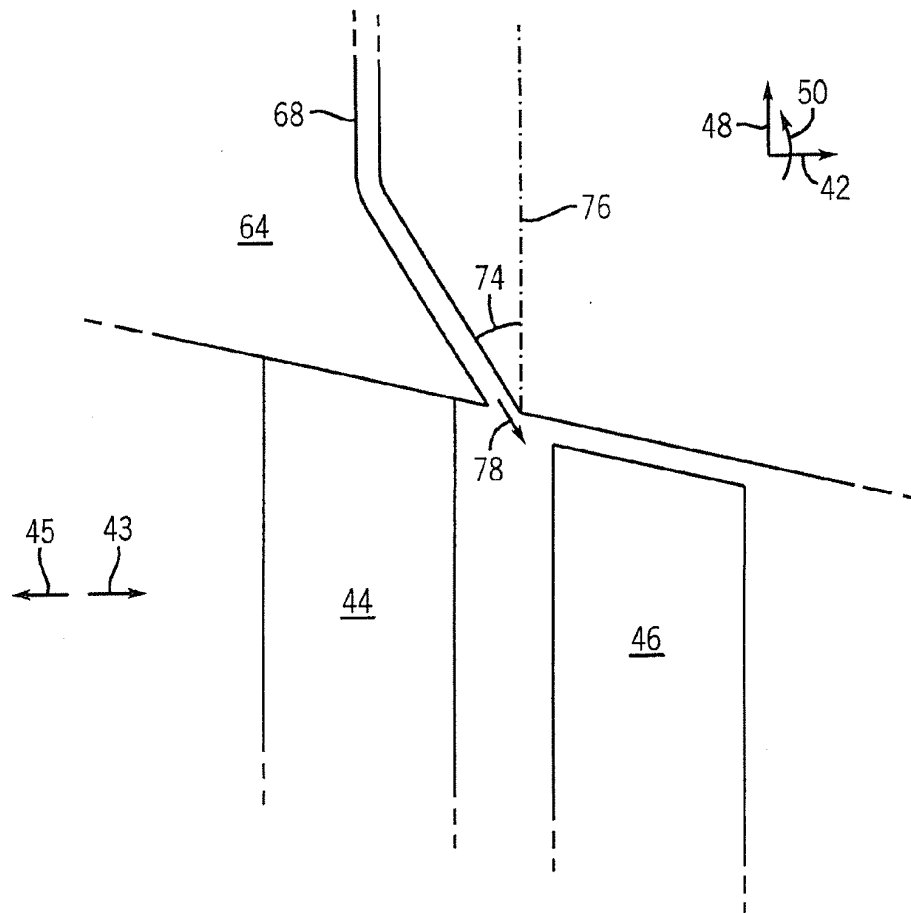


FIG. 5

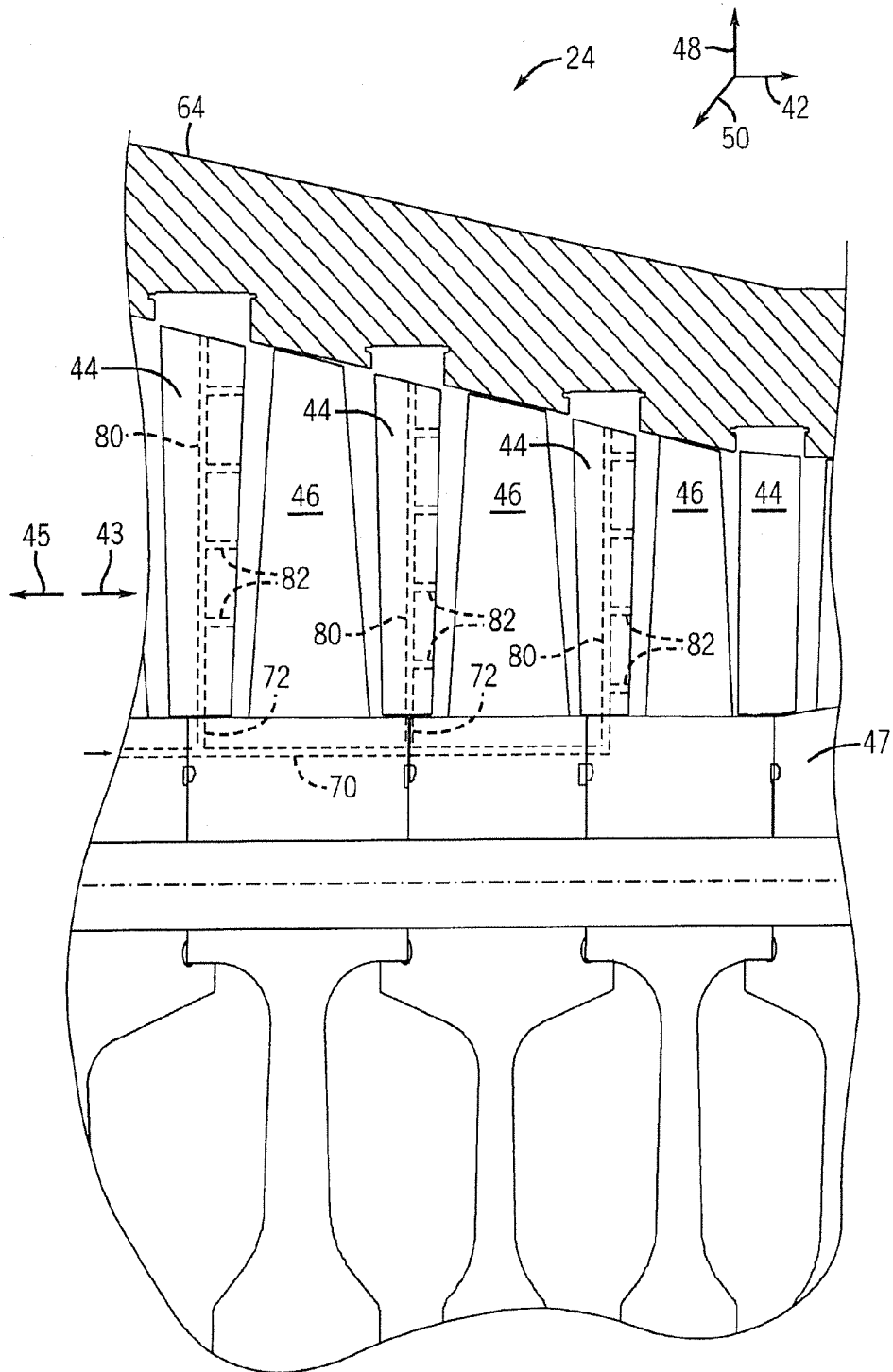


FIG. 6

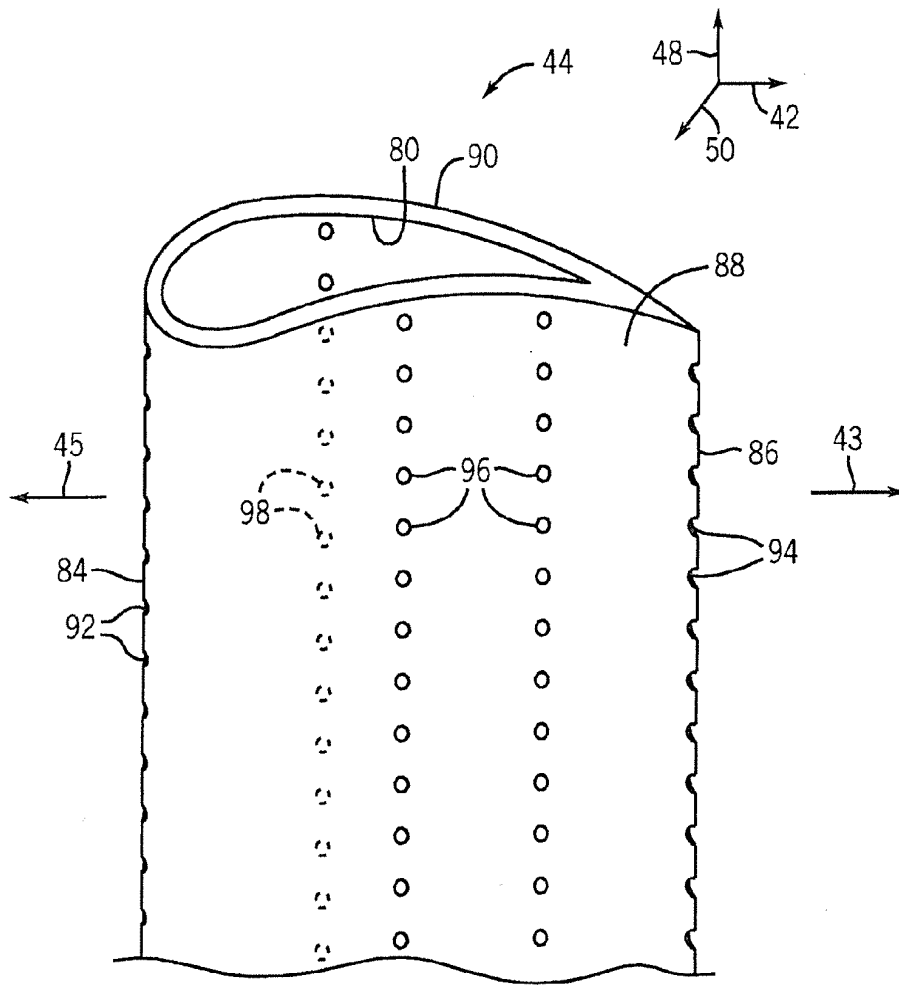


FIG. 7

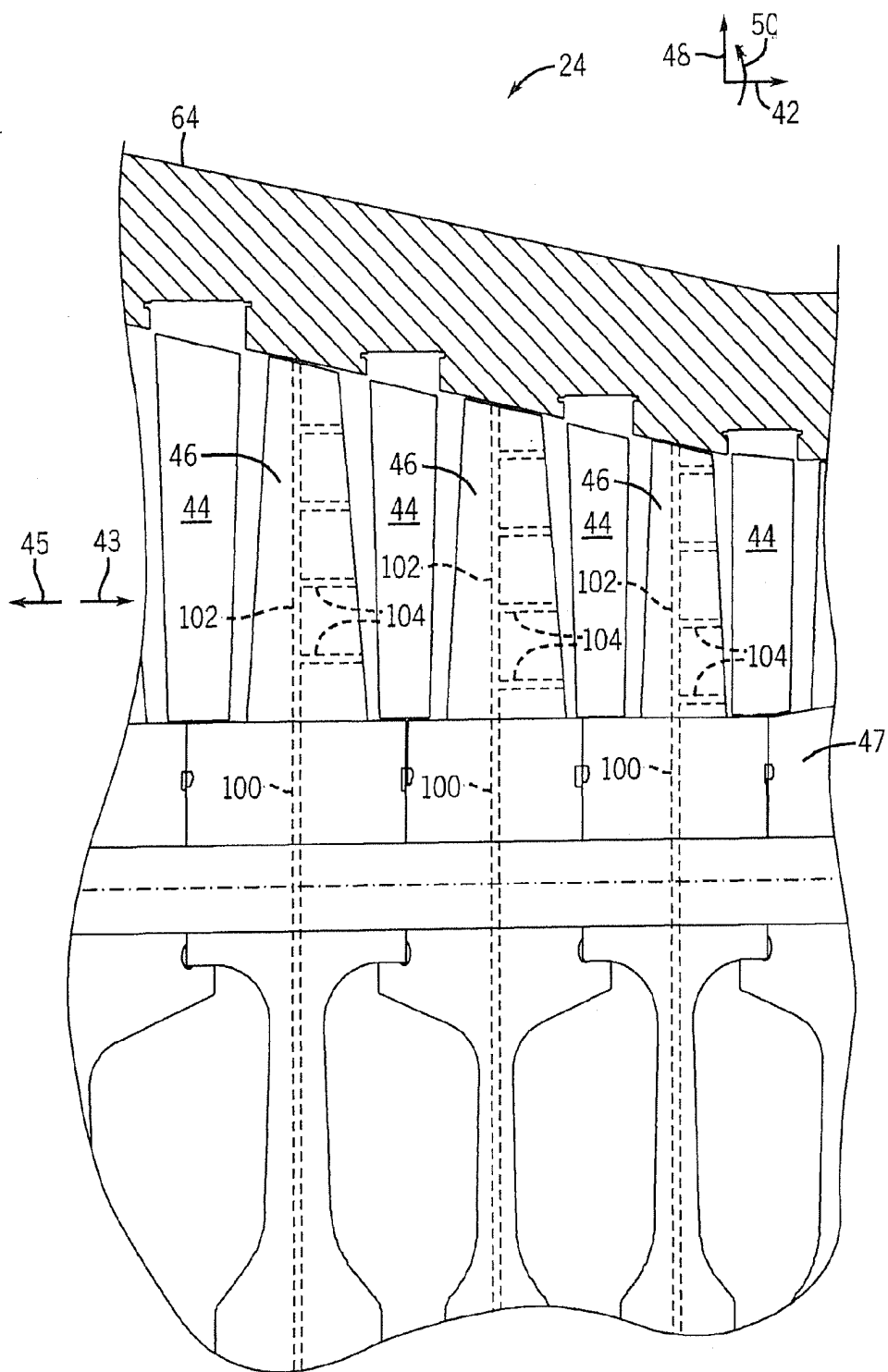


FIG. 8

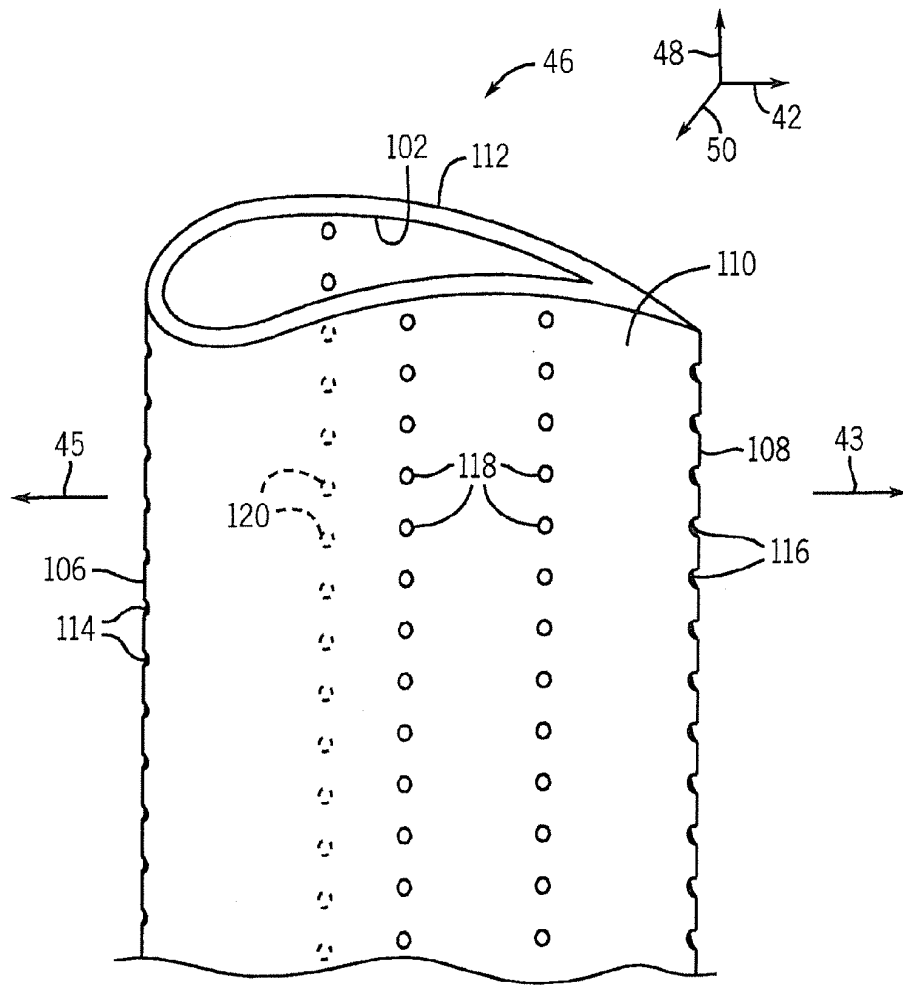


FIG. 9