



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 985 882 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.03.2000 Patentblatt 2000/11

(51) Int. Cl.⁷: **F23R 3/02**, F23R 3/54,
F23M 13/00, F23C 9/00

(21) Anmeldenummer: **98810901.3**

(22) Anmeldetag: **10.09.1998**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
**Keller, Jakob, Prof. Dr.
5610 Wohlen (CH)**

(71) Anmelder: **Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)**

(74) Vertreter: **Klein, Ernest et al
Asea Brown Boveri AG
Immaterialgüterrecht(TEI)
Haselstrasse 16/699 I
5401 Baden (CH)**

(54) **Schwingungsdämpfung in Brennkammern**

(57) Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen und die erfindungsgemäßen Verfahren dienen der Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen in einer Brennkammer. Die Brennkammer ist hierbei zumeist als schadstoffarme Vormischbrennkammer ausgeführt und besteht aus einer Fluidzuführvorrichtung 210, einer Vorkammer 211, einer Vormischvorrichtung 214 und einem Brennraum 212. Das Fluid 200 wird dem Brennraum 212 vollständig oder nahezu vollständig durch das frontseitig angeordnete Frontpanel zugeführt. Erfindungsgemäß weist die Brennkammer zur Dämpfung der Schwingungen zumindest eine Rezirkulationsöffnung 220 auf. Darüber hinaus ist vorteilhaft ein Dämpfungsvolumen 230 und ein Injektor 225 angeordnet. Die Rezirkulationsöffnung 220 mündet hierbei bevorzugt zumindest teilweise in das Dämpfungsvolumen 230. Mittels des Injektors 225 wird der Brennkammer höher verdichtetes Fluid zugeführt, um ein ausreichendes und eindeutiges Druckgefälle über die Brennkammer sicherzustellen. Eine typische Ausführung der Erfindung ist in Figur 2 dargestellt.

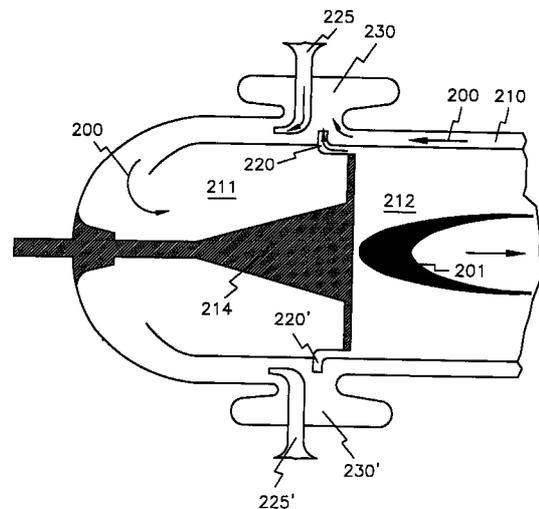


Fig. 2

EP 0 985 882 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zur Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen in Brennkammern, insbesondere in Brennkammern von Gasturbinen.

Stand der Technik

[0002] Die Auslegung von Brennkammern erfolgt heutzutage vorwiegend unter dem Gesichtspunkt einer möglichst geringen Schadstoffbildung und somit eines möglichst geringen Schadstoffausstoßes im Betrieb der Brennkammer. Als ein wesentlicher Schadstoff entstehen während der Verbrennung Stickoxide, die in Abhängigkeit der atmosphärischen Höhe, in der sie ausgestoßen werden, insbesondere einen Abbau oder eine Zunahme des Ozons verursachen. Stickoxide (NO_x) bilden sich bei sehr hohen Temperaturen. Derart hohe Temperaturen treten bei der Verbrennung insbesondere bei einem niedrigen Luftüberschuß und somit einer fetten Verbrennung auf. Solche Bedingungen liegen beispielsweise bei ungenügender Zerstäubung und Vergasung eines flüssigen Brennstoffs in unmittelbarer Umgebung von Brennstofftröpfchen vor. Um eine Stickoxid-Bildung zu vermeiden, werden Brennkammern heutzutage zumeist als Vormischbrennkammern ausgelegt. Der in stationären Gasturbinen zumeist gasförmige Brennstoff wird hier vor der eigentlichen Verbrennung zunächst in einer Vormischvorrichtung mit Luft vermischt. Die Vormischvorrichtung besteht oftmals aus einem oder mehreren Brennern, wie sie beispielsweise in der Druckschrift DE 43 04213 A1 ausgeführt sind. Darüber hinaus findet in modernen Brennkammern keine oder nahezu keine Zumischung von Sekundärluft während des Verbrennungsprozesses mehr statt. Die der Verbrennung zugeführte Luft strömt somit vollständig oder nahezu vollständig durch einen oder mehrere Brenner am Eintritt des Brennraums in diesen ein. Hierdurch bildet sich ein möglichst homogenes Brennstoff/Luft-Gemisch im Brennraum. Eine lokale Überfettung des Brennstoff/Luft-Gemischs kann somit weitgehend vermieden werden. Die Stickoxid-Bildung wird infolgedessen deutlich reduziert.

[0003] Der konstruktive Aufbau einer derartigen sogenannten Low- NO_x -Brennkammer unterscheidet sich von herkömmlichen Brennkammern insbesondere in der Luftführung. Wie bereits oben erwähnt, wird der Innenströmung des Brennraums keine oder nahezu keine Sekundärluft stromab des Brennraumeintritts mehr zugemischt. In herkömmlichen Brennkammern wurde insbesondere zur Kühlung des Wandgehäuses der Brennrauminnenströmung Sekundärluft über Bohrungen in der Brennraumwand zugeführt. Die in den Brennraum einströmende Sekundärluft führte darüber hinaus zu einer Stabilisierung der Verbrennungsströ-

mung. Neben einer aerodynamischen Stabilisierung der Flamme erzeugte die einströmende Sekundärluft eine starke Schalldämpfung innerhalb der Brennkammer. Wanddruckschwankungen in der Brennkammer werden durch die eintretende Sekundärluftströmung besonders stark gedämpft, wenn der Sekundärluftmassenstrom groß und die Eintrittsgeschwindigkeit klein ist. Aufgrund dieses hohen Schalldruckpegels wies die Brennkammer wiederum eine hohe Dämpfungseigenschaft in Bezug auf akustische und/oder thermoakustische Schwingungen der Brennkammer auf, die dissipativ ausgedämpft wurden. Das Fehlen der Zuführung von Sekundärluft in die Verbrennungsströmung bei modernen Brennkammern führt hingegen zu einer geringen akustischen Dämpfung der Brennkammern. Akustische und/oder thermoakustische Schwingungen treten in Brennkammern als Folge unterschiedlicher Ursachen auf. So führen beispielsweise Ungleichförmigkeiten in der Temperaturverteilung der Verbrennungsströmung beim Durchgang durch die Turbine aufgrund eines räumlich oder temporär ungleichförmigen Enthalpieumsatzes zu Ungleichförmigkeiten des Druckes und somit zu thermoakustischen Schwingungen. Diese Schwingungen lassen sich nicht grundsätzlich verhindern. Bei zu geringer Dämpfung und in Abhängigkeit des akustischen Verhaltens der Brennkammer, beispielsweise der Eigenfrequenzen, können diese Schwingungen jedoch zu unerwünscht hohen Druckamplituden führen. Neben einer hohen mechanischen Belastung der Brennkammer infolge der Druckwechselamplituden resultiert hieraus ein Anstieg der Schadstoffemissionen infolge inhomogener Verbrennung sowie im Extremfall ein Verlöschen der Flamme.

Um derartige akustische und/oder thermoakustische Schwingungen zu dämpfen, wurden bisher Helmholtz-Resonatoren, wie in der Druckschrift von Keller J. J. und Zauner E. „On the use of Helmholtz resonators as sound attenuators“, Z angew Math Phys 46, 1995, S. 297-327 beschrieben, eingesetzt. Diese Helmholtz-Resonatoren sind hierbei zumeist eintrittsseitig mit dem Brennraum verbunden. Helmholtz-Resonatoren wirken jedoch nur in einem schmalen Frequenzband um eine Grundfrequenz. Es erfolgt somit keine breitbandige Dämpfung unterschiedlicher Schwingungsfrequenzen.

Darstellung der Erfindung

[0004] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, akustische und/oder thermoakustische Schwingungen in einer Brennkammer einer Turbomaschine, insbesondere einer Gasturbine, über einen möglichst großen Frequenzbereich effektiv zu dämpfen.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Brennkammer zumindest eine Fluidzuführvorrichtung und einen Brennraum umfaßt und ferner der Brennraum zur Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen zumindest eine Rezirkulationsöffnung aufweist. Die Rezirkulationsöff-

nung erzeugt für akustische und/oder thermoakustische Schwingungen einen lokalen Druckausgleich, so daß es zu einer destruktiven Interferenz von akustischen Wellen und ihren Reflexionen kommt. In Abhängigkeit der Druckverhältnisse vor und hinter der Rezirkulationsöffnung kommt es bei akustischen und/oder thermoakustischen Schwingungen zu einem Ausströmen oder auch einem Einströmen von Fluid durch die Rezirkulationsöffnung. Ein perfekter Druckausgleich würde natürlich erfordern, daß die Strömungsgeschwindigkeit gerade verschwindet. Die Rezirkulationsöffnung mündet zweckmäßig in die Zuströmung des Fluides zu dem Brennraum, somit zweckmäßig in die Fluidzuführvorrichtung. Ferner kann die Rezirkulationsöffnung aber auch in ein weiteres Volumen einmünden. Im Falle des Einmündens in die Fluidzuströmung wird das aus dem Brennraum ausströmende Fluid mit der dem Brennraum zuströmenden Fluidströmung weitertransportiert. Hierdurch kommt es zu einem Wiedereinströmen in den Brennraum und infolgedessen zu einer Rezirkulation des aus dem Brennraum ausströmenden Fluides. Ebenso kann aber auch, bei entsprechenden Druckverhältnissen, Fluid aus der Fluidzuströmung durch die Rezirkulationsöffnung in den Brennraum einströmen. Ohne Einschränkung beider möglicher Strömungsrichtungen durch die Rezirkulationsöffnung wird im Folgenden aber in der Regel jeweils nur das Ausströmen von Fluid aus dem Brennraum betrachtet. Bei einer geeigneten und zu bevorzugenden Auslegung der Brennkammer kommt es zweckmäßig überwiegend zu einem sehr geringen Ausströmen von Fluid durch die Rezirkulationsöffnung aus dem Brennraum. Ebenso wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit vereinfachend somit auch nur die Rezirkulation des Fluides betrachtet. Es wurde gefunden, daß akustische und/oder thermoakustische Schwingungen der Brennkammer infolge des Druckausgleichs in der Umgebung der Rezirkulationsöffnungen nachhaltig gedämpft werden.

[0006] Zumindest ein Teil der Fluidzuführvorrichtung verläuft vorteilhaft unmittelbar angrenzend an die Außenseite der Brennraumwandung. Gleichzeitig mit der Zuführung eines Fluides, zumeist Luft, zum Brennraum der Brennkammer wird aufgrund dieser Anordnung die Brennraumwandung auf der Außenseite des Brennraums konvektiv gekühlt. Das Fluid in der Fluidzuführvorrichtung strömt in diesem Fall somit in entgegengesetzter Richtung zur Strömung im Brennraum. Die Fluidzuführvorrichtung mündet zweckmäßig in eine Vorkammer und von dieser in den Brennraum. Es ist hierbei angestrebt, daß sich in dieser Vorkammer ein möglichst homogener Strömungszustand des Fluides ausbildet. Der Strömungszustand des Fluides bezieht sich auf den statischen Druck, die Temperatur und die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides. Eine Ungleichförmigkeit des Strömungszustandes würde zu einer inhomogenen Zuströmung zu dem Brennraum der Brennkammer und letztlich zu einer Ungleichförmigkeit der in dem Brennraum ablaufenden Verbrennung füh-

ren. In einer einfachen Ausführung der Brennkammer kann die Vorkammer aber auch entfallen. Zweckmäßig strömt das Fluid vollständig oder nahezu vollständig eintrittsseitig, bevorzugt über ein eintrittsseitig angeordnetes Frontpanel, dem Brennraum zu. Oftmals ist der Brennraum zylindrisch oder ringkreisförmig ausgeführt, wobei das Frontpanel den Brennraum eintrittsseitig begrenzt. Aufgrund der vollständigen oder nahezu vollständigen Zuführung des Fluides zu dem Brennraum über das Frontpanel steht der in dem Brennraum ablaufenden Verbrennung von Anbeginn an eine für einen schadstoffarmen Verbrennungsprozeß ausreichende Fluidmenge zur Verfügung. Zum Zwecke einer schadstoffarmen Verbrennung ist die Brennkammer zusätzlich vorteilhaft als Vormischbrennkammer mit einer Vormischvorrichtung ausgeführt. In der Vormischvorrichtung findet eine Vorvermischung des zumeist gasförmigen Brennstoffs mit Luft statt. Die bevorzugt als Brenner ausgeführte Vormischvorrichtung ist zweckmäßig vor dem Brennraum angeordnet und mündet bevorzugt in der Ebene des Frontpanels in den Brennraum.

[0007] Die Anordnung der Rezirkulationsöffnung erfolgt bevorzugt im vorderen Bereich des Brennraums an der Brennraumwandung und/oder dem Frontpanel. Die Anordnung der Rezirkulationsöffnung im vorderen Bereich des Brennraums bewirkt, daß die akustische Schwingung im Bereich einer Hauptverbrennungszone einen Druckknoten aufweist. Weil aber die Druckschwingungsamplitude in der Hauptverbrennungszone nahe bei Null gehalten wird, kann nach dem „Rayleigh-Kriterium“ auch keine starke Schallanfächung auftreten. Der Brennraum stellt im vorderen Bereich somit einen zumindest teilweise offenen Schwingungsraum dar.

[0008] In einer vorteilhaften Anordnung ist die Rezirkulationsöffnung mit der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer verbunden. Tritt infolge einer akustischen und/oder thermoakustischen Schwingung Fluid durch die Rezirkulationsöffnung aus dem Brennraum aus, so mündet dieses Fluid somit in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer. Von dort strömt das aus dem Brennraum ausströmende Fluid wieder in den Brennraum. Das aus dem Brennraum ausgetretene Fluid rezirkuliert infolgedessen.

[0009] Die Rezirkulationsöffnung ist zweckmäßig als Düse ausgeführt, wobei die Düse vorteilhaft in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer einmündet. Die Düse weist bevorzugt einen konstanten Querschnitt auf, so daß das aus dem Brennraum ausströmende Fluid weder maßgebend beschleunigt noch verzögert wird. Mittels der Düse kann das aus dem Brennraum ausströmende Fluid gezielt der Strömung in der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer zugeführt werden. Insbesondere die Zuströmrichtung des aus dem Brennraum ausströmenden Fluides als auch der Ort der Einmündung sind somit frei wählbar. Mündet die Rezirkulationsöffnung zunächst in ein Volumen und erst mittelbar über dieses Volumen in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer, so ist im allgemeinen,

sofern nicht eigens unterschieden wird, die Einmündung des zwischengeschalteten Volumens in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer ebenso auch als Einmündung der Rezirkulationsöffnung in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer zu betrachten.

[0010] Bevorzugt ist die Rezirkulationsöffnung so ausgelegt, daß der engste Querschnitt der Rezirkulationsöffnung im Vergleich zu dem engsten Querschnitt eines entsprechenden Helmholtz-Resonators deutlich größer ist. Ein entsprechender Helmholtz-Resonator ist durch die akustische Eigenfrequenz der Brennkammer und somit die Auslegungsfrequenz des Helmholtz-Resonators sowie die erforderliche Dämpfungsleistung bestimmt. Besonders bevorzugt weist der engste Querschnitt der Rezirkulationsöffnung eine Querschnittsfläche auf, die etwa der zehnfachen Querschnittsfläche des engsten Querschnitts des entsprechenden Helmholtz-Resonators entspricht. Diese größere Querschnittsfläche der Rezirkulationsöffnung im Vergleich zu einem Helmholtz-Resonator ist vor allem unter dem Aspekt eines möglichst breiten Wirkungsbereichs in Bezug auf die zu dämpfenden Schwingungsfrequenzen und Schwingungsamplituden vorteilhaft. Im Gegensatz zu einem Helmholtz-Resonator führt der hier vorgeschlagene Schalldämpfer nicht zu einer resonanten Schalldämpfung. Deshalb muß der offene Dämpferquerschnitt bei gleicher Dämpfungsleistung um etwa eine Größenordnung größer sein.

[0011] Die Strömung eines realen Fluides durch die Brennkammer ist grundsätzlich verlustbehaftet. Das in dem Brennraum strömende Fluid weist somit einen geringeren Totaldruck auf als das Fluid in der Fluidzuführvorrichtung oder auch in der Vorkammer. Kommt es aufgrund eines statischen Druckgefälles zu einem Ausströmen von Fluid durch die Rezirkulationsöffnung aus dem Brennraum in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer, so weist das aus dem Brennraum ausströmende Fluid somit einen geringeren Totaldruck auf als das Fluid in der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer. Dies führt dazu, daß der mittlere Totaldruck in der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer stromab der Einmündung der Rezirkulationsöffnung im Falle des Ausströmens von Fluid aus dem Brennraum absinkt. Zweckmäßig ist in der Brennkammer zumindest ein Injektor so angeordnet, daß er in einem Bereich stromab der Rezirkulationsöffnung in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer einmündet. Mittels dieses Injektors kann der Strömung zusätzliches Fluid zugeführt werden. Die Aufgabe des Injektors besteht darin, das Totaldruckgefälle der Strömung über dem Brenner, somit das Totaldruckgefälle der Strömung zwischen der Einmündung der Rezirkulationsöffnung in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer und der korrespondierenden Ebene im Brennraum, wenigstens zu kompensieren. Darüber hinaus wird das mittels des Injektors zusätzlich zugeführte Fluid vorteilhaft mit einer der umgebenden Fluidströmung angepaßten

Strömungsrichtung in die Strömung eingebracht. Zweckmäßig ist der Injektor als Düse mit einem sich verjüngenden Querschnitt ausgeführt. Als Folge des zusätzlich zugeführten Fluids erhöht sich der mittlere Totaldruck des Fluids in der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer insbesondere stromab der Einmündung des Injektors. Damit stellt sich im Saugzweig des Injektors ein stabiler Druckanstieg ein, der gerade das Druckgefälle über den Brenner kompensiert.

[0012] Besonders zweckmäßig wird sowohl die Fluidzuführvorrichtung als auch der Injektor aus ein und demselben Fluidreservoir gespeist. Bevorzugt sind hierzu die jeweils freien Enden der Fluidzuführvorrichtung und des Injektors mit diesem Fluidreservoir verbunden.

[0013] Weiterhin weist die Brennkammer vorteilhaft ein möglichst großes Dämpfungsvolumen auf. Das Dämpfungsvolumen kann hierbei beispielsweise als Dämpfungskammer ausgeführt sein. Das Dämpfungsvolumen ist so angeordnet, daß zumindest ein Teil des durch die Rezirkulationsöffnung aus dem Brennraum ausströmenden Fluides in das Dämpfungsvolumen einströmt. Ferner ist das Dämpfungsvolumen zweckmäßig mit der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer verbunden. Das Dämpfungsvolumen weist im Vergleich zur Primärzone der Brennkammer bevorzugt ein näherungsweise gleich großes oder größeres Volumen auf. Die Primärzone ist hierbei der Bereich des Brennraums, in dem die Primärverbrennung stattfindet. Es wurde gefunden, daß die Kombination einer Rezirkulationsöffnung mit einem Dämpfungsvolumen in Form eines Puffervolumens insbesondere bei einem kompressiblen Fluid zu einer besonders effektiven Schwingungsdämpfung führt.

Das Dämpfungsvolumen, insbesondere die Zuströmung und Abströmung zum Dämpfungsvolumen, ist bevorzugt so ausgelegt, daß das Fluid in dem Dämpfungsvolumen im Vergleich zu dem Fluid in dem Brennraum bei Grundlast einen ausgeglichenen statischen Druck und bei Vollast einen geringfügig niedrigeren statischen Druck aufweist. Bei Grundlast resultiert hieraus keine oder eine nur sehr geringe Strömung durch die Rezirkulationsöffnungen in das Dämpfungsvolumen. Bei Vollast führt der geringfügige Überdruck in dem Brennraum zu einem kontinuierlichen Ausfluß von Fluid aus dem Brennraum durch die Rezirkulationsöffnung. Mittels einer derartigen Auslegung ist sichergestellt, daß bei Vollast kein Fluid durch die Rezirkulationsöffnung in den Brennraum einströmt. Ein Einströmen von Fluid durch die Rezirkulationsöffnung in den Brennraum würde eine höhere Schadstoffemission der Brennkammer zur Folge haben. Ist kein Dämpfungsvolumen angeordnet, so ist es zweckmäßig, den Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung in die Fluidzuführvorrichtung und/oder die Vorkammer so ausulegen, daß das Fluid im Bereich der Einmündung im Vergleich zu dem Fluid in dem Brennraum bei Grundlast einen

ausgeglichenen statischen Druck und bei Vollast einen geringfügig niedrigeren statischen Druck aufweist.

[0014] Ferner strömt zweckmäßig zusätzlich kälteres Fluid, beispielsweise aus der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer, in das Dämpfungsvolumen. Hierdurch werden zu hohe Temperaturen in dem Dämpfungsvolumen vermieden.

In einer besonders zweckmäßigen Ausführung ist das Dämpfungsvolumen in der Volumengröße veränderbar. Hiermit läßt sich die Dämpfungscharakteristik des Dämpfungsvolumens in einfacher Weise verändern und optimieren.

[0015] Vorteilhaft ist die Fluidzuführvorrichtung im Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung als Venturi-Düse ausgeführt. Der engste Querschnitt der Venturi-Düse ist bevorzugt im unmittelbaren Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung angeordnet. Im Falle der Anordnung eines Dämpfungsvolumens ist die Venturi-Düse vorteilhaft im Bereich der Einmündung des Dämpfungsvolumens in die Fluidzuführvorrichtung angeordnet und der engste Querschnitt der Venturi-Düse liegt bevorzugt im unmittelbaren Bereich der Einmündung des Dämpfungsvolumens in die Fluidzuführvorrichtung. Mit Hilfe der Anordnung einer Venturi-Düse kann insbesondere der Anteil des Fluidmassenstroms durch die Fluidzuführvorrichtung im Verhältnis zu dem Fluidmassenstrom durch den Injektor erhöht werden. Diese Verminderung des Fluidmassenstroms durch den Injektor wird in einfacher Weise zweckmäßig durch eine Verringerung des Strömungsquerschnitts des Injektors erzielt. Als Folge der Anordnung der Venturi-Düse tritt im Bereich des engsten Querschnitts der Venturi-Düse ein deutlich verminderter statischer Druck der Fluidströmung in der Fluidzuführvorrichtung auf. Bei der bevorzugten Anordnung des engsten Querschnitts der Venturi-Düse im unmittelbaren Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung oder des Dämpfungsvolumens in die Fluidzuführvorrichtung ist der sich Her einstellende statische Druck näherungsweise auch gleich dem statischen Druck im Brennraum. Da gleichzeitig die Strömungsgeschwindigkeit des Fluides im Brennraum deutlich niedriger ist, resultiert Heraus folglich ein deutlich niedrigerer Totaldruck des Fluides im Brennraum als in der Fluidzuführvorrichtung und/oder der Vorkammer. Infolge dieses Totaldruckgefälles der Strömung über die Brennkammer ist somit auch ohne oder mit nur geringfügig über einen Injektor zusätzlich zugeführtem Fluid weitestgehend eine stabile und gerichtete Strömung des Fluides in der Brennkammer sichergestellt. Desweiteren stellt sich infolge der Anordnung der Venturi-Düse ein erhöhter Druckverlust der Brennkammer ein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt.

[0017] Es zeigen:

- Fig. 1 einen Schnitt durch eine Breunkammer mit einer erfindungsgemäßen Anordnung einer Rezirkulationsöffnung und eines Injektor
- 5 Fig. 2 einen Schnitt durch eine Brennkammer mit einer erfindungsgemäßen Anordnung einer Rezirkulationsöffnung, eines Injektors und eines Dämpfungsvolumens
- 10 Fig. 3 für eine Brennkammer mit Rezirkulationsöffnung und einem optimierten Injektor graphisch aufgetragen den Druckverlust in der Fluidzuführvorrichtung und im Brennraum jeweils in Abhängigkeit des Druckverlustes der Brennkammer
- 15 Fig. 4 für die Brennkammer nach Figur 3 in graphischer Auftragung den prozentualen, durch die Fluidzuführvorrichtung der Brennkammer zugeführten Fluidmassendurchsatz in Abhängigkeit des Druckverlustes der Brennkammer
- 20 Fig. 5 für die Brennkammer nach Figur 3 graphisch aufgetragen die relative Querschnittsfläche des optimierten Injektors in Abhängigkeit des Druckverlustes der Brennkammer
- 25 Fig. 6 einen Schnitt durch eine Brennkammer mit einer Rezirkulationsöffnung, einem Dämpfungsvolumen und einem Injektor, wobei die Fluidzuführvorrichtung im Bereich der Einmündung des Dämpfungsvolumens als Venturi-Düse ausgeführt ist.
- 30 Fig. 7 einen Schnitt durch eine weitere Brennkammer mit einer in dem Frontpanel angeordneten Rezirkulationsöffnung, einem Dämpfungsvolumen und einem Injektor, wobei die Fluidzuführvorrichtung im Bereich der Einmündung des Dämpfungsvolumens als Venturi-Düse ausgeführt ist.
- 35 Fig. 8 in einer graphischen Auftragung den Druckverlust in der Fluidzuführvorrichtung und im Brennraum jeweils in Abhängigkeit des Druckverlustes der Brennkammer für eine Brennkammer mit einer Rezirkulationsöffnung, einem optimierten Injektor und einer als Venturi-Düse ausgeführten Fluidzuführvorrichtung
- 40 Fig. 9 für die Brennkammer nach Figur 8 graphisch dargestellt den prozentualen, durch die Fluidzuführvorrichtung der Brennkammer zugeführten Fluidmassendurchsatz in Abhängigkeit des Druckverlustes der
- 45
- 50
- 55

Brennkammer

Fig. 10 für die Brennkammer nach Figur 8 graphisch dargestellt die relative Querschnittsfläche des optimierten Injektors in Abhängigkeit des Druckverlustes der Brennkammer

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0018] In Figur 1 ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung in einem Längsschnitt durch eine Brennkammer dargestellt. Die Brennkammer besteht aus einer Fluidzuführvorrichtung 110, einer Vorkammer 111 und einem Brennraum 112. Ferner ist die dargestellte Brennkammer als Vormischbrennkammer mit einer Vormischvorrichtung 114 ausgeführt. Die Vormischvorrichtung 114 ist frontseitig an dem Frontpanel 115 des Brennraums 112 angeordnet. Die dargestellte Brennkammer kann sowohl als Rohrbrennkammer mit einem zylindrischen Querschnitt oder auch als Ringbrennkammer mit einem um die Maschinenachse konzentrischen Lochkreisquerschnitt ausgeführt sein. In modernen Turbomaschinen, die zumeist sehr kompakt aufgebaut sind, wird häufig die letztere Ausführungsform bevorzugt. Ohne Einschränkung der Anwendung der Erfindung in Bezug auf den Einsatz in einer bevorzugten Brennkammerbauart wird im Folgenden davon ausgegangen, daß die in den Figuren dargestellten Brennkammern als Ringbrennkammern ausgeführt sind. In den Darstellungen ist somit entsprechend jeweils nur der Ausschnitt oberhalb der Maschinenachse wiedergegeben.

Die Zuführung des Fluides 100 zum Brennraum 112 erfolgt mit Hilfe der Fluidzuführvorrichtung 110. Die Fluidzuführvorrichtung 110 kann aus einzelnen Rohrleitungen bestehen, die entweder in die Vorkammer 111 oder direkt in den Brennraum 112 einmünden. Insbesondere bei Ringbrennkammern ist aber eine Ausführung der Fluidzuführvorrichtung 110 in Form eines oder mehrerer ringkreisförmiger Strömungskanäle zu bevorzugen. Hierdurch wird eine über den Umfang der Brennkammer möglichst gleichmäßige Zuströmung zum Brennraum sichergestellt. Die in Figur 1 dargestellte Fluidzuführvorrichtung 110 besteht aus zwei Strömungskanälen, die konzentrisch auf der Oberseite (gehäuseseitig) und der Unterseite (nabenseitig) der Brennkammer, unmittelbar an die Außenwand des Brennraums 112 angrenzend, angeordnet sind. Neben einer Zuführung des Fluides wird somit gleichzeitig eine Kühlung der Wandung des Brennraums 112 infolge des Wärmeübergangs von der Brennraumwandung auf das Fluid erzielt. Das Fluid durchströmt die Fluidzuführvorrichtung 110 in der Darstellung von rechts nach links und somit in Gegenstromrichtung zur eigentlichen Durchströmung des Brennraums 112. Der Darstellung entsprechend strömt das Fluid aus der Fluidzuführvorrichtung 110 in die Vorkammer 111. Einerseits wird das Fluid in der Vorkammer 111 in die entgegengesetzte

Strömungsrichtung umgelenkt. Andererseits werden in der Vorkammer 111 Druckunterschiede zwischen der Oberseite und der Unterseite der Fluidzuführvorrichtung 110 ausgeglichen. Hieraus resultiert eine möglichst gleichmäßige Zuströmung zum Brennraum 112. In der Vorkammer 111 ist darüber hinaus die in Form mehrerer, am Umfang verteilter Brenner ausgeführte Vormischvorrichtung 114 angeordnet. Die Vormischvorrichtung 114 dient der Vorvermischung des zumeist gasförmigen Brennstoffs mit einem Anteil des zugeführten Fluides 100, zumeist Luft. Infolge der hohen Strömungsgeschwindigkeit in der Vormischvorrichtung 114 tritt hier noch keine Verbrennung auf. Ziel der Vormischvorrichtung 114 ist es ein gleichmäßiges Brennstoff-Fluid-Gemisch zu erzeugen. Aus der Vorkammer 111 strömt das Fluid durch das Frontpanel 115 des Brennraums in den Brennraum 112. In dem Brennraum 112 findet die Verbrennung 101 des Brennstoff-Fluid-Gemisches statt. Im Gegensatz zu früheren Brennkammern wird dem Brennraum 112 kein Fluid mehr über zusätzliche Öffnungen in der nabenseitigen und der gehäuseseitigen Wandung 113 des Brennraums zugeführt. Dieses zusätzlich zugeführte Fluid diente früher hauptsächlich zur Kühlung der Brennraumwandung. Die in Figur 1 dargestellte nabenseitige und gehäuseseitige Brennraumwandung 113 ist hingegen geschlossen. Es wird kein Fluid mehr längs des Brennraumes 112 der Brennrauminnenströmung zugemischt. Hieraus resultiert eine verminderte Erzeugung von Stickoxiden bei der Verbrennung. Nachteilig wirkt sich jedoch die ebenso verminderte Dämpfungseigenschaft der Brennkammer auf akustische oder thermoakustische Schwingungen der Fluidströmung in der Brennkammer aus. Derartige Schwingungen entstehen als Folge vielerlei Ursachen in Brennkammern, die zum Teil oben beschrieben wurden. Eine Anfachung oder Dämpfung findet nur in Abhängigkeit des akustischen Verhaltens der Brennkammer statt. Dies führt in vielen Fällen zu übermäßigen Druckamplituden der Schwingung. Als nachteilige Folgen ergeben sich insbesondere eine Erhöhung der Schadstoffemission durch eine ungleichmäßige Verbrennung und eine erhöhte mechanische Belastung der Bauteile aufgrund der entstehenden Druckwechselamplituden. Im schlimmsten Fall kann es sogar zu einem Erlöschen der Flamme oder sogar zu einem Flammenrückschlag kommen. Hier setzt die Erfindung an. In dem in Figur 1 dargestellten Ausschnitt der Brennkammer wurde erfindungsgemäß sowohl an der gehäuseseitigen als auch an der nabenseitigen Wandung des Brennraums 112 im vorderen Bereich des Brennraums je eine Rezirkulationsöffnung 120, 120' angeordnet. Die Rezirkulationsöffnungen 120, 120' sind hier als Düsen mit jeweils konstantem Querschnitt ausgeführt und münden in die Fluidzuführvorrichtung 110. Die Düsen sind vorteilhaft so gebogen, daß die Einmündung des aus dem Brennraum 112 austretenden Fluides 121 in die Fluidzuführvorrichtung 110 angepaßt zur Strömung des Fluides

100 in der Fluidzuführvorrichtung 110 erfolgt. Grundsätzlich kann die Erfindung auch über die Anordnung nur einer Rezirkulationsöffnung ausgeführt werden. Um eine möglichst gleichmäßige Druckverteilung im Brennraum 112 der Brennkammer zu erhalten, ist jedoch eine möglichst symmetrische und gleichmäßige Verteilung der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' vorteilhaft. In Figur 1 nicht dargestellt ist die Verteilung der Rezirkulationsöffnungen am Umfang der Brennkammer. Vorzugsweise sind am Umfang der Ringbrennkammer an mehreren Positionen, zweckmäßig jeweils in gleichen Abständen zueinander Rezirkulationsöffnungen angeordnet. Die konstruktive Ausgestaltung der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' und der Fluidzuführvorrichtung 110 an den Stellen der Einmündungen der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' erfolgt unter dem Aspekt, daß das Fluid im Bereich der Einmündungen der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' im Vergleich zu dem Fluid im Brennraum 112 bei Grundlast einen ausgeglichenen statischen Druck und bei Vollast einen geringfügig niedrigeren statischen Druck aufweist. Somit ist sichergestellt, daß im regulären Betrieb der Brennkammer zwischen Grundlast und Vollast kein oder ein nur sehr geringer Fluidmassenstrom durch die Rezirkulationsöffnungen 120, 120' in den Brennraum 112 einströmt. Zumeist strömt Fluid in geringfügigem Umfang aus dem Brennraum 112 aus. Als Auslegungsparameter können hierzu insbesondere die Strömungsgeschwindigkeiten in den Einmündungsbereichen der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' durch die konstruktive Gestaltung der Strömungsquerschnitte der Fluidzuführvorrichtung 110 in diesen Bereichen frei gewählt werden.

Im Falle akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen des Fluides im Brennraum 112 findet über die Rezirkulationsöffnungen 120, 120' ein Druckausgleich zwischen der Fluidströmung im Brennraum 112 und der Fluidströmung in der Fluidzuführvorrichtung 110 und somit auch in der Vorkammer 111 statt. Aus dem Brennraum 112 in die Fluidzuführvorrichtung 110 austretendes Fluid 121 wird durch die Vorkammer 111 wieder dem Brennraum 112 zugeführt und rezirkuliert infolgedessen. Aufgrund dissipativer Verluste des rezirkulierenden Fluides 121 wird die Schwingung gedämpft. Der erzwungene Druckausgleich in der Primärzone der Brennkammer führt dort zu destruktiver Interferenz der Schallwellen und deshalb zu kleinen Druckschwingungsamplituden im Bereich der Hauptverbrennungszone. Bei ausreichend großer Dimensionierung der Strömungsquerschnitte der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' und einem ausreichenden Druckabfall im Rezirkulationsbereich werden somit Schwingungen über den gesamten Frequenzbereich gedämpft oder sogar vollständig ausgedämpft.

Infolge der Viskosität des Fluides treten bei der Durchströmung der Brennkammer reibungsbedingte Totaldruckverluste des Fluides auf. Dies bedeutet, daß das im Brennraum 112 befindliche Fluid einen geringeren Totaldruck aufweist als das Fluid in der Fluidzuführvor-

richtung 110 oder der Vorkammer 111. Die Ausbildung einer Strömung durch die Rezirkulationsöffnungen 120, 120' hingegen ist jedoch von dem statischen Druck in Brennraum 112 sowie im Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung 120, 120' in die Fluidzuführvorrichtung 110 abhängig. Somit ist es möglich, daß trotz des niedrigeren Totaldrucks Fluid aus dem Brennraum 112 in die Strömung in der Fluidzuführvorrichtung 110 ausströmt und somit rezirkuliert. Aufgrund des niedrigeren Totaldrucks ist dies jedoch nur in einem beschränkten Umfang möglich. Um der Fluidströmung in der Brennkammer auch im Falle der Rezirkulation eines Teils des Fluides in der gesamten Brennkammer ein eindeutiges Druckgefälle aufzuprägen, sind in der in Figur 1 dargestellten Ausführung der Erfindung zusätzlich zu den Rezirkulationsöffnungen 120, 120' erfindungsgemäß zwei Injektoren 125, 125' angeordnet. Diese Injektoren 125, 125' sind so angeordnet, daß sie in einem Bereich stromab der Rezirkulationsöffnungen 120, 120' in die Fluidzuführvorrichtung 110 einmünden. Die Injektoren 125, 125' sind hier als Düsen mit einem sich jeweils verjüngenden Strömungsquerschnitt ausgeführt. In der in Figur 1 dargestellten Ausführung der Erfindung sind zwei Injektoren 125, 125' angeordnet. Im Rahmen der Erfindung ist es gleichermaßen möglich, nur einen einzelnen Injektor anzuordnen. Um eine möglichst gleichmäßige Druck- und somit Strömungsverteilung sowohl am Umfang der Brennkammer als auch in radialer Erstreckung zu erzielen, ist jedoch zumeist eine Mehrstellenanordnung zu bevorzugen. In dem in Figur 1 dargestellten Beispiel der Erfindung sind aus diesem Grund zwei Injektoren 125, 125' an der nabenseitigen und an der gehäuseseitigen Außenwand angeordnet. Darüber hinaus ist eine Mehrstelleneinblasung am Umfang der Brennkammer von Vorteil. Mit Hilfe dieser Injektoren 125, 125' wird der Brennkammer zusätzliches Fluid 126 zugeführt. Das zugeführte Fluid 126 weist hierbei zweckmäßig einen höheren Totaldruck auf als das Fluid 121, das aus dem Brennraum 112 rezirkuliert. Vorzugsweise werden die Injektoren 125, 125' aus dem gleichen Fluidreservoir gespeist wie die Fluidzuführvorrichtung 110. Die Speisung der Injektoren 125, 125' ist in Figur 1 nicht dargestellt. In einer Turbomaschine ist eine derartige Speisung aus einem Reservoir in einfacher Weise mittels eines Bypass-Kanals realisierbar. Dieser Bypass-Kanal zweigt am Austritt des der Brennkammer vorangehenden Verdichters ab. Während ein Teil des aus dem Verdichter kommenden Fluides mit einem relativ großen Totaldruckverlust durch die Fluidzuführvorrichtung 110 strömt, wird der übrige Teil des aus dem Verdichter kommenden Fluides über den Bypass-Kanal der Brennkammer zugeführt. Das mittels der Injektoren 125, 125' der Brennkammerströmung zugeführte Fluid 126 führt zu einer Zunahme des mittleren Totaldrucks der Strömung stromab der Einblasung und somit zu einem ausreichenden Druckgefälle über den oder die Brenner. Infolgedessen wird der stabile Betriebsbereich der Brennkammer in der Ausführung

mit der erfindungsgemäßen Rezirkulationsvorrichtung durch die Anordnung der Injektoren 125, 125' erweitert. Die Effektivität der Injektoren 125, 125' ist hierbei stark von dem Dichteverhältnis des eingeblasenen Fluides zu dem umgebenden Fluid abhängig. Weist das umgebende Fluid, somit also das aus den Rezirkulationsöffnungen 120, 120' ausgetretene Fluid vermischt mit dem in der Fluidzuführvorrichtung 110 zugeführten Fluid, eine hohe Temperatur und somit geringe Dichte des Fluides auf, so sinkt die Effektivität der Injektoren. Dies führt dazu, daß die Rezirkulationsöffnungen 120, 120' in Kombination mit der Einblasung über die Injektoren 125, 125' einen eigenstabilen Regelkreis darstellen.

[0019] In Figur 2 ist eine zweite Ausführung der Erfindung in einem Schnitt durch eine weitere Brennkammer wiedergegeben. Die hier dargestellte Brennkammer ist ähnlich der in Figur 1 abgebildeten Brennkammer aufgebaut. Diese Ähnlichkeit im Aufbau der Brennkammern entsprechend den Figuren 1 und 2 schränkt hierbei den allgemeinen Anwendungsbereich der Erfindung im Zusammenhang mit anderen Brennkammerbauarten nicht ein. Im Wesentlichen besteht die Brennkammer aus einer Fluidzuführvorrichtung 210, einer Vorkammer 211, einer Vormischvorrichtung 214 und einem Brennraum 212 mit einem den Brennraum begrenzenden Frontpanel. Die Funktionsweise entspricht hierbei der Funktionsweise der in Figur 1 dargestellten Brennkammer. Erfindungsgemäß weist die in Figur 2 dargestellte Brennkammer Rezirkulationsöffnungen 220, 220' auf. Diese Rezirkulationsöffnungen 220, 220' sind stirnseitig an dem Frontpanel, vorzugsweise am Umfang verteilt, angeordnet. Die Rezirkulationsöffnungen 220, 220' sind hier in Form von Düsen ausgeführt, wobei die Düsen einen 90°-Winkel aufweisen und in die Fluidzuführvorrichtung 210 einmünden. Stromauf der Einmündung der Rezirkulationsöffnungen 220, 220' in die Fluidzuführvorrichtung 210 sind ferner erfindungsgemäß zwei Injektoren 225, 225' angeordnet. Mittels dieser Injektoren 225, 225' wird höher verdichtetes Fluid in die Fluidzuführvorrichtung 210 und somit auch in die Vorkammer 211 eingeblasen. Hierdurch ist die Ausbildung eines eindeutigen Druckgefälles über die Brenner hinweg sichergestellt. Darüber hinaus weist die in Figur 2 dargestellte Brennkammer erfindungsgemäß nabenseitig und gehäuseseitig angeordnete Dämpfungsvolumina 230, 230' auf. Die Dämpfungsvolumina 230, 230', die sich vorteilhaft jeweils über den gesamten Umfang der Brennkammer erstrecken, sind hier auf den Außenseiten der Brennkammer so angeordnet, daß das aus den Rezirkulationsöffnungen 220, 220' austretende Fluid zumindest teilweise in die Dämpfungsvolumina 230, 230' einströmt. Die Dämpfungsvolumina 230, 230' sind hierzu jeweils mittels einer Öffnung mit der Fluidzuführvorrichtung 210 verbunden. In Abhängigkeit der Druckverhältnisse kann somit Fluid aus der Fluidzuführvorrichtung 210 in die Dämpfungsvolumina 230, 230' und in umgekehrter Richtung ein- und ausströmen. Grundsätzlich wird sich

in den Dämpfungsvolumina 230, 230' ein näherungsweise gleicher statischer Druck einstellen wie in der Fluidzuführvorrichtung 210. Die konstruktive Auslegung der Fluidzuführvorrichtung 210 ist darüber hinaus vorteilhaft so gewählt, daß sich bei Grundlast ein ausgeglichener statischer Druck und bei Vollast ein geringfügig niedrigerer statischer Druck in den Dämpfungsvolumina 230, 230' im Vergleich zu dem Fluid im Brennraum 212 einstellt. Die Dämpfungsvolumina 230, 230' sind jeweils näherungsweise mit einem gleich großen Volumen ausgeführt wie die Primärzone der Brennkammer.

Als Folge akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen aus dem Brennraum 212 ausströmendes Fluid strömt zumindest teilweise in die Dämpfungsvolumina 230, 230' ein. Infolge der großen Volumina der Dämpfungsvolumina 230, 230' werden die Druckschwankungen hier deutlich gedämpft. Eine Druckwelle, die in ein Dämpfungsvolumen 230 oder 230' eintritt, wird hierbei größtenteils ausgedämpft und somit nicht weitergeleitet oder reflektiert. Bei einer ausreichenden Dimensionierung sowohl der Strömungsquerschnitte der Rezirkulationsöffnungen 220, 220' als auch der Dämpfungsvolumina 230, 230' werden akustische Schwingungen über den gesamten Frequenzbereich ausgedämpft.

Gleichzeitig mit dem aus dem Brennraum in die Dämpfungsvolumina 230, 230' einströmenden Fluid strömt in der dargestellten Ausführung der Erfindung auch Fluid aus der Fluidzuführvorrichtung 210 in die Dämpfungsvolumina 230, 230' ein. Dieser Anteil an kühlerem Fluid sorgt für eine niedrigere mittlere Temperatur des Fluides in den Dämpfungsvolumina 230, 230' im Vergleich zu der Temperatur des Fluides im Brennraum 212. Das Fluid in den Dämpfungsvolumina 230, 230' wird über die Öffnung wiederum sukzessive in die Strömung in der Fluidzuführvorrichtung 210 abgegeben.

[0020] Die Ergebnisse einer rechnerischen Simulation einer Figur 2 entsprechenden Brennkammer sind in den Figuren 3, 4 und 5 dargestellt. Als Eingangsparameter der Simulation wurde bei Verwendung von Luft als Fluid ein Totaldruck von 16 bar am Ende der Fluidzuführvorrichtung, eine Fluidichte von $7,7 \text{ kg/m}^3$ am Ende der Fluidzuführvorrichtung, eine Dichte der über die Injektoren eingeblasenen Luft von $8,3 \text{ kg/m}^3$ und ein Diffusorwirkungsgrad von 0,7 zugrunde gelegt. Als Diffusor gilt hierbei die Kanalaufweitung der Fluidzuführvorrichtung vor der Vorkammer. Die in den Figuren dargestellten Ergebnisse gelten hierbei für optimierte Querschnitte der Rezirkulationsöffnungen und der Injektoren. In Figur 3 ist der Druckverlust der zur Kühlung der Brennraumwandung angeordneten Fluidzuführvorrichtung und des Brennraums über dem Druckverlust der gesamten Brennkammer dargestellt. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß gemäß den Vorgaben das über die Injektoren zugeführte Fluid gerade den Druckverlust der Brenner ausgleicht. Dieser Druckverlust der Brenner als der Druckverlust zwischen der Vorkammer und den Rezirkulationsöffnungen bleibt über den gesamten Abszis-

senbereich unveränderlich. Demgegenüber steigt der Druckverlust der Fluidzuführvorrichtung kontinuierlich an und bestimmt gleichzeitig den Druckverlust über die gesamte Brennkammer.

In Figur 4 ist der dazugehörige prozentuale Fluidmassenstrom, der über die Fluidzuführvorrichtung der Brennkammer zugeführt wird, über dem Druckverlust der Brennkammer aufgetragen. Im Bereich niedrigen Druckverlustes der Brennkammer ist auch der prozentuale Fluidmassenstrom sehr niedrig. Da eine ausreichende Kühlung der Brennraumwandung einen gewissen Fluidmassendurchsatz durch die Fluidzuführvorrichtung erforderlich macht, kann die Brennkammer hier somit erst in einem Bereich höheren Druckverlustes der Brennkammer betrieben werden.

Figur 5 gibt das Verhältnis der dem jeweiligen Druckverlust der Brennkammer zugeordneten Querschnittsfläche der Injektoren (A₂) zu der Gesamtquerschnittsfläche (A₁+A₂) der Injektoren und der Fluidzuführvorrichtung an. Die Querschnittsfläche der Injektoren sinkt somit mit einem zunehmenden Druckverlust der Brennkammer.

[0021] Der in Figur 4 dargestellte, geringe Fluidmassenstrom, der durch die Fluidzuführvorrichtung dem Brennraum zugeführt wird, ist in einigen Fällen, insbesondere bei Verwendung zur Kühlung der Brennraumwandung, nicht ausreichend. In solchen Fällen kann zur Erhöhung des Fluidmassenstroms die Erfindung vorteilhaft mit einem weiteren Merkmal ausgeführt werden. In der in Figur 6 dargestellten Brennkammer muß ein geringerer Massenstrom über die Injektoren 325, 325' zugeführt werden. Dies führt zu einem größeren Fluidmassenstrom durch die Fluidzuführvorrichtung 310 im Vergleich zu den Ausführungen der Erfindung entsprechend den Figuren 1 und 2. Die dargestellte Brennkammer ist wiederum als Vormischbrennkammer mit einer Fluidzuführvorrichtung 310, einer Vorkammer 311, einer Vormischvorrichtung 314 und einem Brennraum 312 mit frontseitig abschließendem Frontpanel ausgeführt. Ferner weist die Brennkammer erfindungsgemäß zwei im vorderen Teil des Brennraums angeordnete Rezirkulationsöffnungen 320, 320' auf. Die Rezirkulationsöffnungen 320, 320' sind hier so ausgeführt, daß zumindest ein Teil des aus dem Brennraum austretenden Fluides in je ein Dämpfungsvolumen 330, 330' einströmt und von dort in die Fluidzuführvorrichtung 310 weitergeleitet wird. Weiterhin sind stromauf der Rezirkulationsöffnungen 320, 320' Injektoren 325, 325' in der Fluidzuführvorrichtung 310 angeordnet, durch die der Strömung zusätzliches und höher verdichtetes Fluid zugeführt wird. Zur Erhöhung des Fluidmassenstroms durch die Fluidzuführvorrichtung 310 ist die Fluidzuführvorrichtung 310 im Bereich der Einmündung 335 der Dämpfungsvolumina 330, 330', bzw. der Rezirkulationsöffnungen 320, 320', jeweils als Venturi-Düse 340, 340' ausgeführt. Die engsten Querschnitte der Venturi-Düsen 340, 340' sind hier jeweils im Bereich der Einmündungen 335 der Dämpfungsvolumina 330, 330'

in die Fluidzuführvorrichtung 310, geringfügig stromab der Einmündungen 335, angeordnet. Die Bereiche der Fluidzuführvorrichtung 310 stromab der engsten Querschnitte der Venturi-Düsen 340, 340' sind als Diffusoren der Venturi-Düsen mit einem sich jeweils erweiternden Querschnitt ausgeformt. Infolge der Anordnung der Venturi-Düsen 340, 340' kommt es zu einer Absenkung des statischen Druckes in der Fluidzuführvorrichtung 310 in dem Einmündungsbereich 335 der Dämpfungsvolumina 330, 330'. Infolgedessen stellt sich, eine sinnvolle Auslegung der Strömungsquerschnitte vorausgesetzt, in dem Dämpfungsvolumen 330, 330' und somit auch im Brennraum 312 der näherungsweise gleiche statische Druck wie in den engsten Querschnitten der Venturi-Düsen 340, 340' ein. Der infolge der Querschnittserweiterung und der damit einhergehenden Geschwindigkeitsverminderung der Strömung stromab der engsten Querschnitte der Venturi-Düsen 340, 340' sich einstellende statische Druck in der Vorkammer ist ausreichend, um ein stabiles und eindeutiges Druckgefälle über die Brenner sicherzustellen. Der Fluidmassenstrom, der über die Injektoren 325, 325' der Brennkammer zugeführt wird, kann somit über kleinere Strömungsquerschnitte der Injektoren verringert werden. Entsprechend wird hierdurch der Massenstrom, der der Brennkammer durch die Fluidzuführvorrichtung 310 zugeführt wird und zur Kühlung der Brennraumwandung beiträgt, erhöht.

[0022] Figur 7 zeigt eine weitere Ausführung der Erfindung. Die dargestellte Brennkammer besteht aus einer Fluidzuführvorrichtung 410, einer Vorkammer 411, einer Vormischvorrichtung 414 und einem Brennraum 412, der frontseitig mittels eines Frontpanel abgeschlossen wird. Die erfindungsgemäß ausgeführten Rezirkulationsöffnungen 420, 420' sind an dem Frontpanel angeordnet. Zumindest ein Teil des aus dem Brennraum 412 austretenden Fluides 421 strömt in die Dämpfungsvolumina 430, 430', die stirnseitig an den Brennraum 412 angrenzend angeordnet sind und sich räumlich in die Vorkammer 411 hinein erstrecken. Die Strömungskanäle zwischen den Dämpfungsvolumina 430, 430' und der Brennkammeraußenwand, die als Teil der Fluidzuführvorrichtung 410 zu betrachten sind, sind hier zweckmäßig als Venturi-Düsen ausgeformt. Die engsten Querschnitte 441, 441' der Venturi-Düsen liegen jeweils geringfügig stromab der Einmündungen 435, 435' der Dämpfungsvolumina 430, 430', beziehungsweise der Rezirkulationsöffnungen 420, 420', in die Fluidzuführvorrichtung 410. Die sich jeweils nach dem engsten Querschnitten 441, 441' der Venturi-Düsen anschließenden Diffusoren 442, 442' der Venturi-Düsen sind jeweils zweiteilig ausgeführt. Ein erster Teil der Diffusoren liegt im Bereich zwischen dem engsten Querschnitt 441, 441' der Venturi-Düsen und den Injektoren 425, 425'. Der zweite Teil der Diffusoren 442, 442' ist jeweils stromab der Injektoren 425, 425' angeordnet. Die Wirkweise der in Figur 7 dargestellten Ausführung der Erfindung ist äquivalent zu der Wirkweise

der in Figur 6 dargestellten Ausführung der Erfindung. Unterschiede der beiden Ausführungen der Erfindung ergeben sich insbesondere in den Bauformen und somit den Brennkammerabmessungen.

[0023] Die Ergebnisse einer rechnerischen Simulation einer der Figur 7 entsprechenden Ausführung der Erfindung sind in den Figuren 8, 9, und 10 dargestellt. Als Eingangsparameter der Simulation wurde bei Verwendung von Luft als Fluid ein Totaldruck von 16 bar am Ende der Fluidzuführvorrichtung, eine Fluidichte von 8 kg/m³ am Ende der Fluidzuführvorrichtung, eine Dichte der über die Injektoren eingblasenen Luft von 8,3 kg/m³, einen Diffusorwirkungsgrad des ersten Teils des Diffusors von 0,8 und des zweiten Teils des Diffusors von 0,5, eine Strömungsgeschwindigkeit in den Venturi-Düsen von 87 m/s und eine Erhöhung des Totaldruckes um 3 Promille infolge der Einblasung mittels der Injektoren zugrunde gelegt. Figur 8 zeigt in gleicher Darstellung wie Figur 3 die Aufteilung der Druckverluste innerhalb der Fluidzuführvorrichtung sowie dem Brennraum über dem Druckverlust der gesamten Brennkammer. In Figur 9 ist der prozentuale Massenstromanteil dargestellt, der der Brennkammer als Kühlluft durch die Fluidzuführvorrichtung zugeführt wird. Im Vergleich zu Figur 4 läßt sich eine deutliche Erhöhung des Anteils des über die Fluidzuführvorrichtung dem Brennraum zugeführten Fluidmassenstroms erkennen. In Figur 10 ist in Korrespondenz zu Figur 5 das Verhältnis der dem jeweiligen Druckverlust zugeordneten Querschnittsflächen der Injektoren (A2) zu der Gesamtquerschnittsfläche (A1+A2) der Injektoren und der Fluidzuführvorrichtung aufgetragen.

[0024] Figur 11 zeigt eine Ausführung der Erfindung, die insbesondere auch geeignet ist, um das optimale Volumen des Dämpfungsvolumens 530 zur effektiven Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen in Abhängigkeit der Brennkammer und des jeweiligen Betriebspunktes zu bestimmen. Die hier dargestellte Brennkammer besteht aus einer Fluidzuführvorrichtung 510, einer Vorkammer 511, einer Vormischvorrichtung 514 und einem Brennraum 512, der stirnseitig durch ein Frontpanel 515 von der Vorkammer 511 abgegrenzt ist. Die Fluidzuführvorrichtung 510 ist hier nicht, wie in den vorhergehenden Darstellungen, zur Kühlung der Brennraumwandung angrenzend an den Brennraum angeordnet. Zur Dämpfung von akustischen und/oder thermoakustischen Schwingungen wurde hier zusätzlich eine Rezirkulationsöffnung 520 in der Brennkammerwandung angeordnet. Die Rezirkulationsöffnung 520 mündet in ein Dämpfungsvolumen 530. Das Volumen des Dämpfungsvolumens 530 kann über eine verschiebbare Begrenzungswand verändert werden. Hierdurch läßt sich die Dämpfungsleistung über den Frequenzbereich variieren. Das aus dem Brennraum 512 in das Dämpfungsvolumen 530 eintretende Fluid 521 rezirkuliert über die Rezirkulationsöffnung 520 wieder zurück in den Brennraum 512.

Bezugszeichenliste

[0025]

5	100,200,300,400,500	Strömungsrichtung des Fluides
	101,201,301	Verbrennung
	110,210,310,410,510	Fluidzuführvorrichtung
	111,211,311,411,511	Vorkammer
10	112,212,312,412,512	Brennraum
	113	Wandung des Brennraums
	114,214,314,414,514	Vormischvorrichtung
	115,515	Frontpanel
	120,120',220,220',320,	
15	420,420',520	Rezirkulationsöffnung
	121,421,521	rezirkulierendes Fluid
	125,125',225,225',	
	325,325',425,425'	Injektor
	126	mittels Injektor zugeführtes Fluid
20	230,230',330,330',	
	430,530	Dämpfungsvolumen
	335,435,435'	Einmündung
	340,340'	Venturi-Düse
25	441,441'	engster Querschnitt der Venturi-Düse
	442,442'	Diffusor der Venturi-Düse

Patentansprüche

- 30 1. Brennkammer einer Turbomaschine, insbesondere einer Gasturbine, umfassend eine Fluidzuführvorrichtung (210) und einen Brennraum (212), dadurch gekennzeichnet, daß der Brennraum (212) zur Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen zumindest eine Rezirkulationsöffnung (220) aufweist.
- 40 2. Brennkammer nach Anspruch 1, bei der der Brennraum (112) auf der einen Seite von einem Frontpanel (115) begrenzt wird, wobei das Fluid vollständig oder nahezu vollständig dem Brennraum über das Frontpanel (115) zugeführt wird.
- 45 3. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Brennkammer zusätzlich eine Vorkammer (211) umfaßt, die zwischen der Fluidzuführvorrichtung (210) und dem Brennraum (212) angeordnet ist.
- 50 4. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Brennkammer als Vormischbrennkammer ausgeführt ist und eine Vormischvorrichtung (214) aufweist.
- 55 5. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der zumindest ein Teil der Fluidzuführvorrichtung

- tung (110) zur Kühlung der Brennraumwandung (113) in Gegenstromanordnung zur Brennraumdurchströmung unmittelbar an die Brennraumwandung angrenzend angeordnet ist.
6. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Rezirkulationsöffnung (220) mit der Fluidzuführvorrichtung (210) und/oder der Vorkammer (211) verbunden ist. 5
7. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Rezirkulationsöffnung (220) als Düse ausgeführt ist, wobei die Düse bevorzugt einen konstanten Querschnitt aufweist. 10
8. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Rezirkulationsöffnung (220) im vorderen Bereich des Brennraums (212) angeordnet ist. 15
9. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der der engste Querschnitt der Rezirkulationsöffnung (220) im Vergleich zu dem engsten Querschnitt eines entsprechenden Helmholtz-Resonators deutlich größer ausgeführt ist und bevorzugt wenigstens der zehnfachen Querschnittsfläche des engsten Querschnitts des Helmholtz-Resonators gleicher Schälldämpfungsleistung entspricht. 20 25
10. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der das Fluid (200) im Bereich der Einmündung der Rezirkulationsöffnung (220) im Vergleich zu dem Fluid in dem Brennraum (212) bei Grundlast einen ausgeglichenen statischen Druck und bei Vollast einen geringfügig niedrigeren statischen Druck aufweist. 30 35
11. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der ein Injektor (225) so angeordnet ist, daß er in einem Bereich stromab der Rezirkulationsöffnung (220) in die Fluidzuführvorrichtung (210) und/oder die Vorkammer (211) einmündet. 40
12. Brennkammer nach Anspruch 11, bei der der Injektor (225) als Düse ausgebildet ist. 45
13. Brennkammer nach Anspruch 11 oder 12, bei der sowohl die Fluidzuführvorrichtung (210) als auch der Injektor (225) an ihren freien Enden mit demselben Fluidreservoir verbunden sind. 50
14. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der weiterhin ein Dämpfungsvolumen (230) angeordnet ist, wobei das Dämpfungsvolumen (230) so angeordnet ist, daß zumindest ein Teil des durch die Rezirkulationsöffnung (220) aus dem Brennraum ausströmenden Fluides in das Dämpfungsvolumen (230) einströmt. 55
15. Brennkammer nach Anspruch 14, bei der das Dämpfungsvolumen (230) in die Fluidzuführvorrichtung (210) und/oder die Vorkammer (211) einmündet.
16. Brennkammer nach einem der Ansprüche 14 oder 15, bei der das Dämpfungsvolumen (230) ein näherungsweise gleich großes Volumen aufweist wie die Primärzone der Brennkammer.
17. Brennkammer nach einem der Ansprüche 14 bis 16, bei der das Volumen des Dämpfungsvolumens (530) veränderbar ist.
18. Brennkammer nach einem der vorigen Ansprüche, bei der die Fluidzuführvorrichtung (410) im Bereich der Einmündung (435) der Rezirkulationsöffnung (420) als Venturi-Düse ausgeführt ist, wobei der engste Querschnitt (441) der Venturi-Düse bevorzugt im unmittelbaren Bereich der Einmündung (435) der Rezirkulationsöffnung (420) angeordnet ist.
19. Brennkammer nach einem der Ansprüche 14 bis 17, bei der die Fluidzuführvorrichtung (310) im Bereich der Einmündung (335) des Dämpfungsvolumens (330) als Venturi-Düse (340) ausgeführt ist, wobei der engste Querschnitt der Venturi-Düse (340) bevorzugt im unmittelbaren Bereich der Einmündung (335) des Dämpfungsvolumens (330) angeordnet ist.
20. Verfahren zur Dämpfung akustischer und/oder thermoakustischer Schwingungen der Strömung eines Fluides in einer Brennkammer einer Turbomaschine, wobei die Brennkammer zumindest eine Fluidzuführvorrichtung (210) und einen Brennraum (212) umfaßt, bei dem die akustischen und/oder thermoakustischen Schwingungen durch Rezirkulation eines Teils des durch die Brennkammer strömenden Fluides (200) gedämpft werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem zumindest ein Teil des aus dem Brennraum (212) durch eine Rezirkulationsöffnung (220) ausströmenden Fluids zunächst in ein Dämpfungsvolumen (230) und anschließend in die Fluidzuführvorrichtung (210) und/oder die Vorkammer (211) der Brennkammer geführt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 oder 21,

bei dem der Strömung (200) zur Erzeugung eines eindeutigen Druckgefälles über die Brenner mittels eines Injektors (225), der stromab der Rezirkulationsöffnung (220) in die Fluidzuführvorrichtung (210) und/oder die Vorkammer (211) einmündet, Fluid zugeführt wird. 5

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, bei dem mittels einer Venturi-Düse (340), die im Bereich der Einmündung (335) der Rezirkulationsöffnung und/oder der Einmündung des Dämpfungsvolumens in der Fluidzuführvorrichtung (310) angeordnet ist, ein eindeutiges Druckgefälle über die Brenner erzeugt wird. 10

15

24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem über die Anordnung der Venturi-Düse (340) der Druckverlust der Brennkammer erhöht wird. 20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

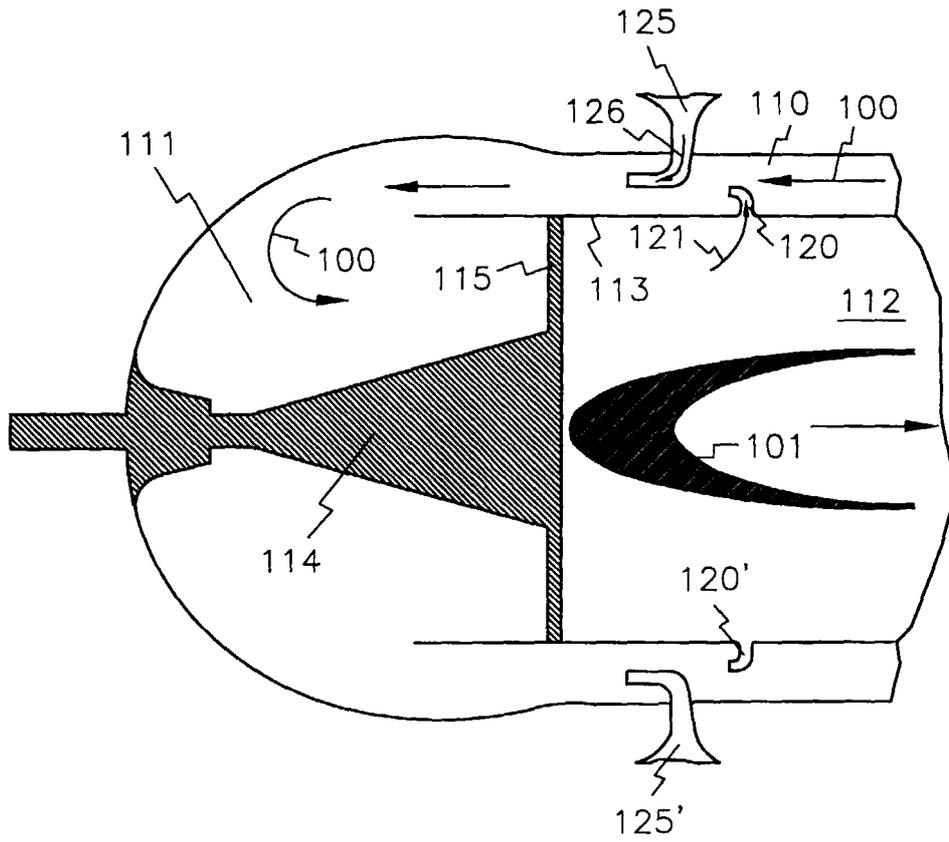


Fig. 1

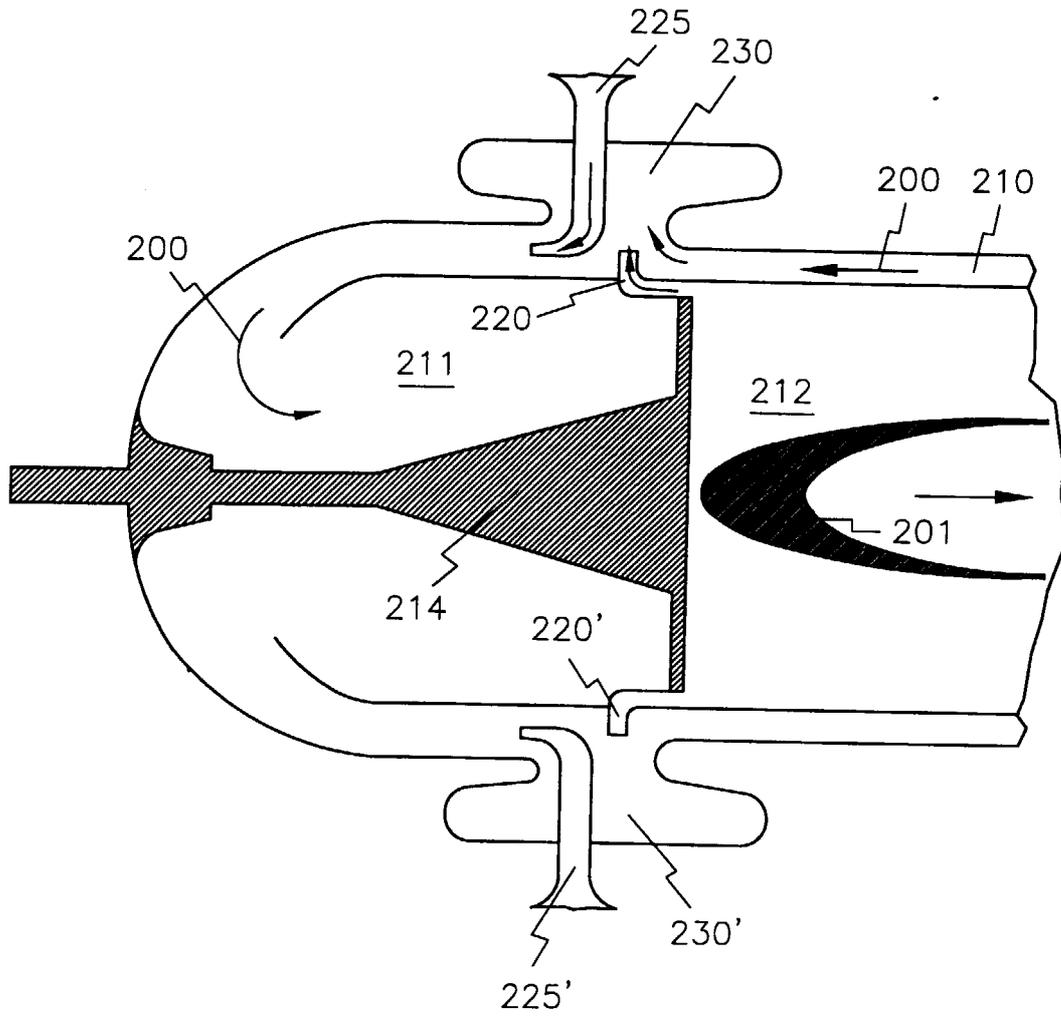


Fig. 2

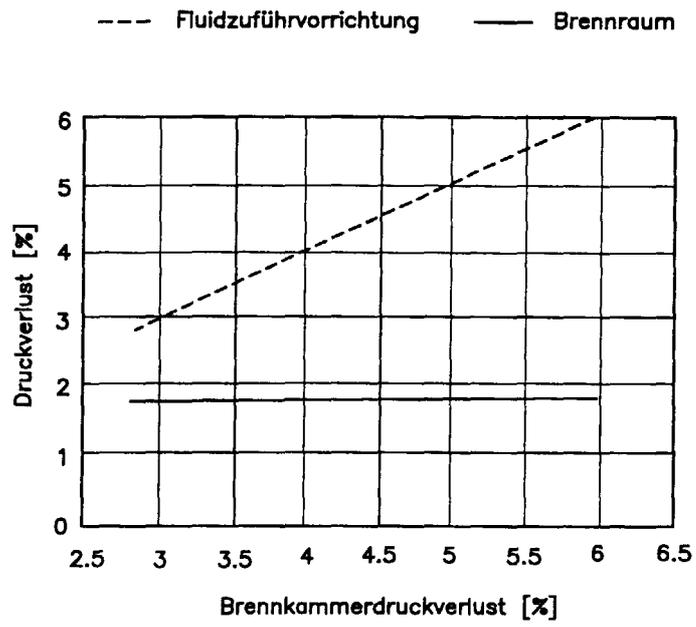


Fig. 3

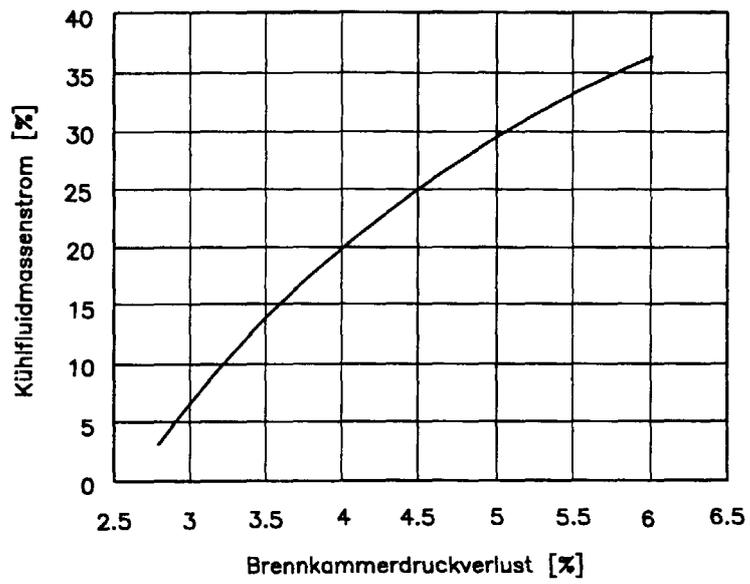


Fig. 4

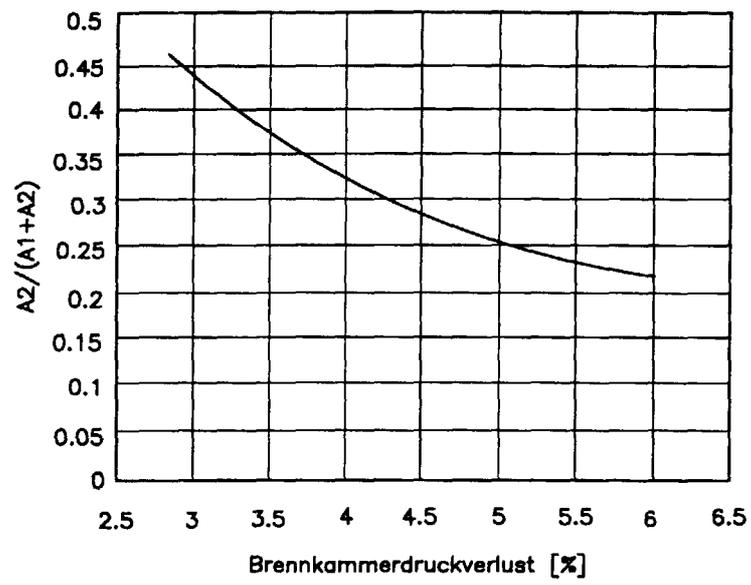


Fig. 5

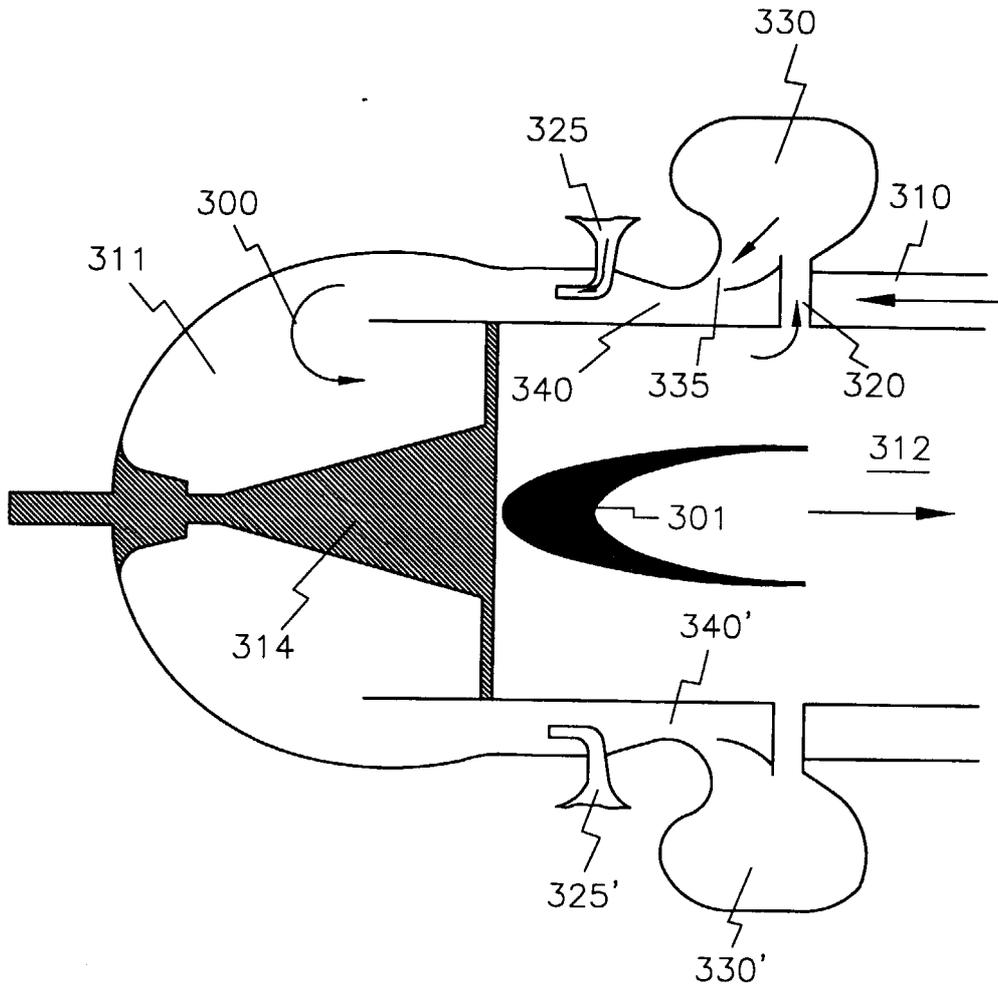


Fig. 6

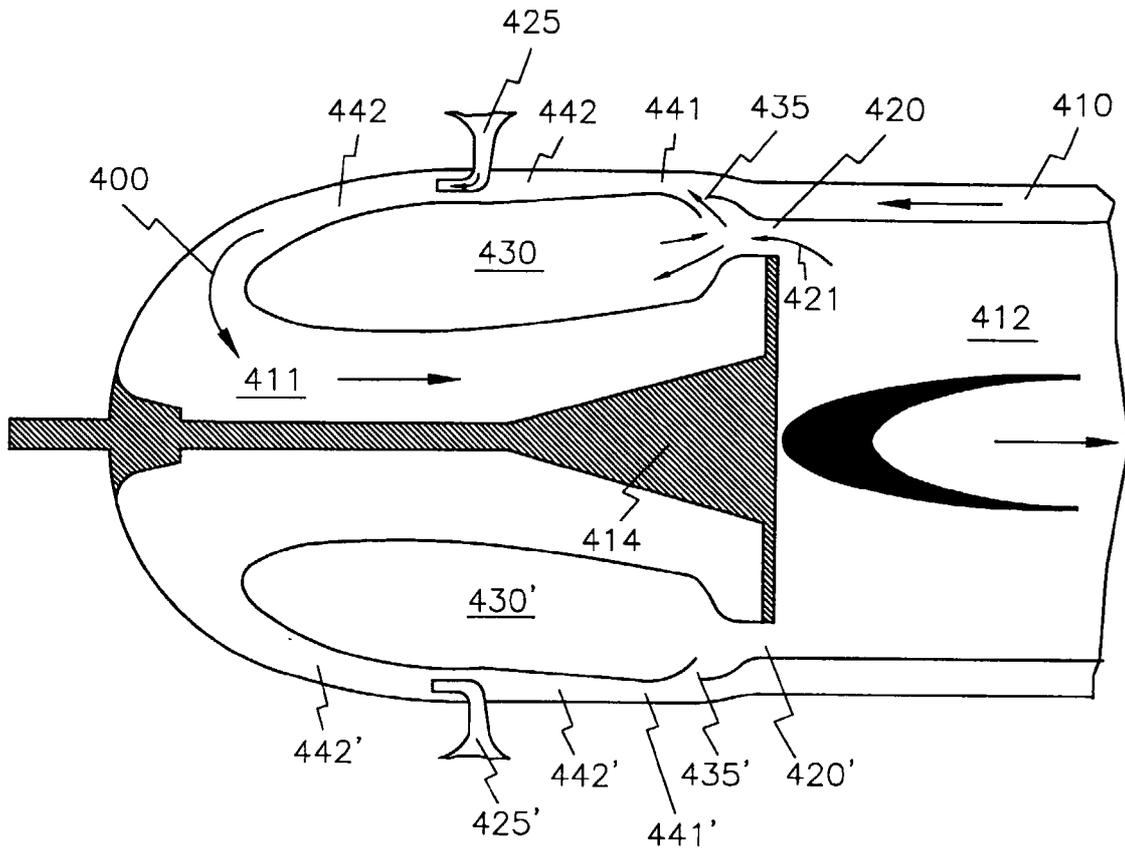


Fig. 7

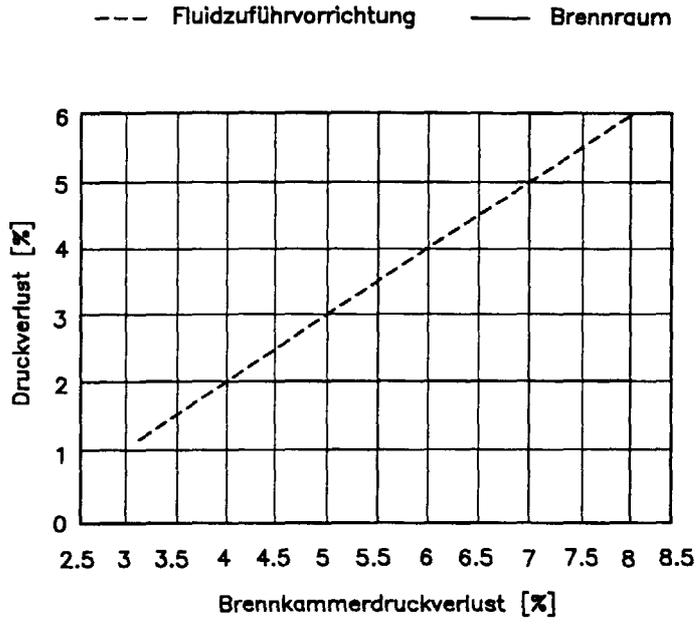


Fig. 8

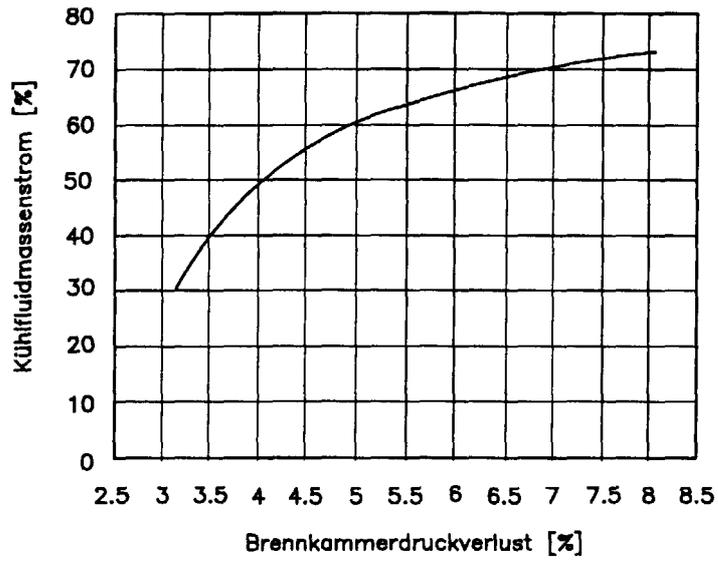


Fig. 9

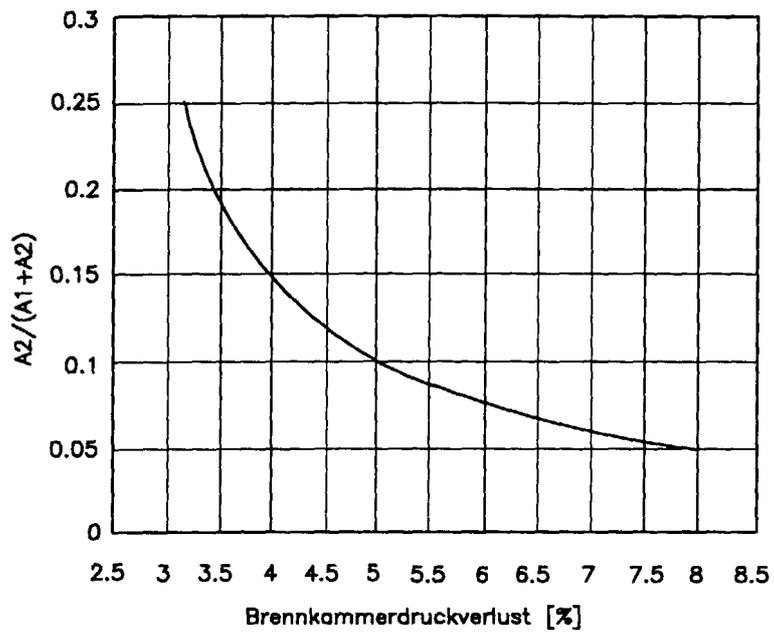


Fig. 10

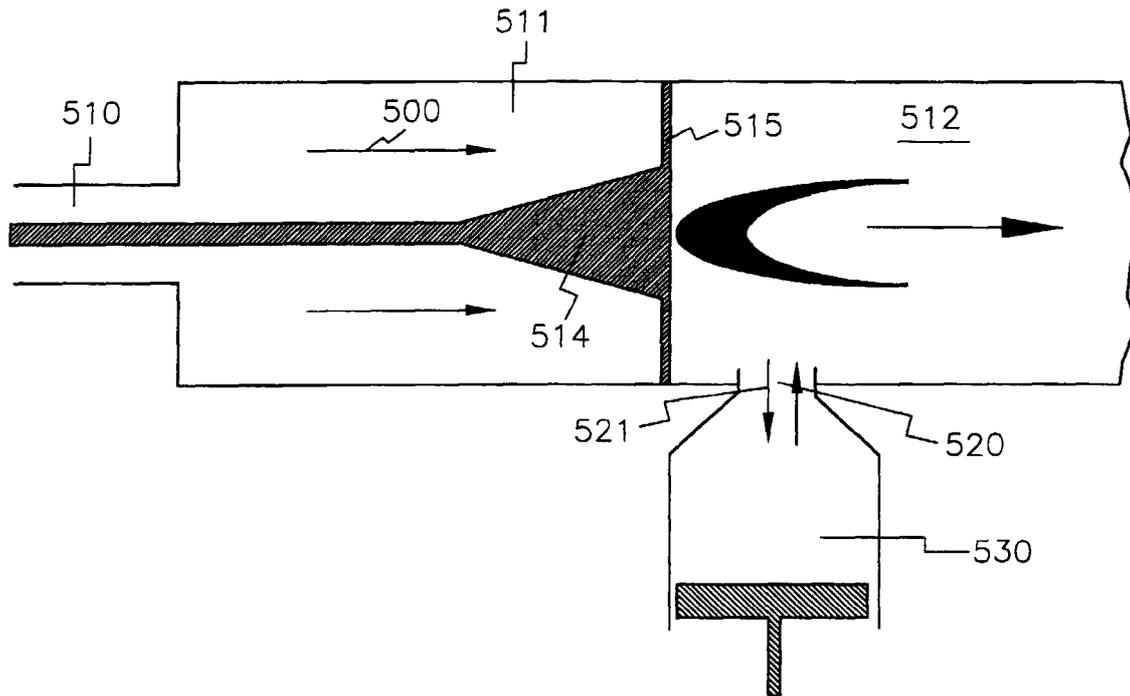


Fig. 11



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 81 0901

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
Y	US 3 744 242 A (STETTLER R ET AL) 10. Juli 1973 * Zusammenfassung; Abbildungen 1,8 * ---	1,2, 5-10, 12-16, 18-20, 22-24	F23R3/02 F23R3/54 F23M13/00 F23C9/00
Y	US 3 974 647 A (LEWIS GEORGE D ET AL) 17. August 1976 * Zeile 14 - Zeile 31; Abbildungen 2-5 * ---	1,2, 5-10, 12-16, 18-20, 22-24	
Y	US 3 826 083 A (BRANDON H ET AL) 30. Juli 1974 * Zusammenfassung; Abbildung 1 * ---	1-24	
Y	DE 196 40 980 A (ASEA BROWN BOVERI) 16. April 1998 * Zusammenfassung; Abbildungen 1-8 * ---	1-24	
A	EP 0 576 717 A (ABB RESEARCH LTD) 5. Januar 1994 ---		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
A	EP 0 801 268 A (ABB RESEARCH LTD) 15. Oktober 1997 -----		F23R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 4. Februar 1999	Prüfer Iverus, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 98 81 0901

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-02-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3744242 A	10-07-1973	AU 446216 B	14-03-1974
		AU 5044772 A	14-03-1974
		CA 963672 A	04-03-1975
		DE 2301572 A	02-08-1973
		FR 2169053 A	07-09-1973
		GB 1352823 A	15-05-1974
		JP 48083212 A	06-11-1973
-----	-----	-----	-----
US 3974647 A	17-08-1976	KEINE	
-----	-----	-----	-----
US 3826083 A	30-07-1974	KEINE	
-----	-----	-----	-----
DE 19640980 A	16-04-1998	KEINE	
-----	-----	-----	-----
EP 0576717 A	05-01-1994	DE 4316475 A	05-01-1994
-----	-----	-----	-----
EP 0801268 A	15-10-1997	DE 19614001 A	16-10-1997
		CN 1165937 A	26-11-1997
		JP 10038275 A	13-02-1998
-----	-----	-----	-----

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82