



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.03.2009 Patentblatt 2009/12

(51) Int Cl.:
F23D 11/10 (2006.01) **F23R 3/34** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08015722.5**

(22) Anmeldetag: **05.09.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(30) Priorität: **13.09.2007 DE 102007043626**

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(72) Erfinder:
• **Rackwitz, Leif**
15834 Rangsdorf (DE)
• **Bagchi, Imon-Kalyan**
14195 Berlin (DE)
• **Dörr, Thomas**
12167 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Weber, Joachim**
Hoefer & Partner
Patentanwälte
Pilgersheimer Strasse 20
81543 München (DE)

(54) **Gasturbinenmagerbrenner mit Kraftstoffdüse mit kontrollierter Kraftstoffinhomogenität**

(57) Die Erfindung betrifft einen Gasturbinenmagerbrenner mit einer Brennkammer (2) sowie mit einer Kraftstoffdüse (1), welche eine Pilotkraftstoffeinspritzung (17) und eine Hauptkraftstoffeinspritzung (18) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptkraftstoffeinspritzung (18) mittlere Ausnehmungen (23) zur kontrolliert inhomogenen Kraftstoffeinspritzung umfasst, deren Anzahl am Umfang zwischen 8 und 40 beträgt und die einen Anstellwinkel δ_2 in Umfangsrichtung von $10^\circ \leq \delta_2 \leq 60^\circ$ und einen axialen Anstellwinkel δ_1 gegenüber der Brennerachse (4) zwischen $-10^\circ \leq \delta_1 \leq 90^\circ$ aufweisen.

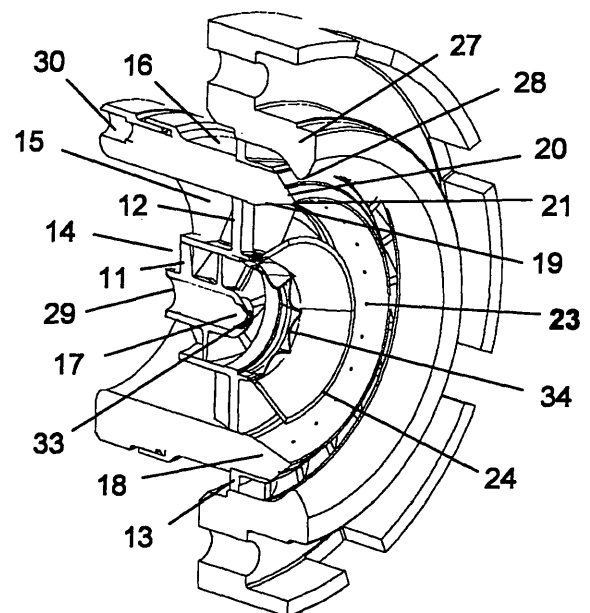


Fig.7

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Gasturbinenmagerbrenner gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Im Einzelnen bezieht sich die Erfindung auf eine Kraftstoffdüse mit kontrollierter Kraftstoffinhomogenität, welche die Möglichkeit schafft, den Kraftstoff in für die Verbrennung optimaler Weise einzubringen.

[0003] Zur Senkung der thermisch bedingten Stickoxidemissionen sind unterschiedliche Konzepte für Brennstoffdüsen bekannt. Eine Möglichkeit besteht in dem Betrieb von Brennern mit einem hohen Luft-Brennstoff-Überschuss. Hier wird das Prinzip ausgenutzt, dass infolge eines mageren Gemisches und bei gleichzeitiger Gewährleistung einer ausreichenden räumlichen Homogenität des Kraftstoff-Luft-Gemisches eine Senkung der Verbrennungstemperaturen und damit der thermisch bedingten Stickoxide ermöglicht wird. Bei vielen derartigen Brennern wird zudem eine sogenannte interne Kraftstoffstufung angewendet. Dies bedeutet, dass neben einer für niedrige NOx-Emissionen ausgelegte Hauptkraftstofffeinspritzung noch eine sogenannte Pilotstufe in den Brenner integriert ist, die mit einem erhöhten Kraftstoff-Luft-Anteil betrieben wird und die Stabilität der Verbrennung, einen ausreichenden Brennkammerausbrand sowie ausreichende Zündeigenschaften gewährleisten soll (siehe Fig. 1). Die Hauptstufe der bekannten sogenannten Magerbrenner ist häufig als sogenannter Filmleger ausgebildet (US 2006/0248898 A1). Neben den Filmlegervarianten sind auch einige Eindüsungsmethoden mit Einzelstrahleinspritzung bekannt, die einen hohen Homogenisierungsgrad der anfänglichen Kraftstoffverteilung und/oder eine hohe Eindringtiefe des eingespritzten Kraftstoffs gewährleisten sollen (US 2004/0040311 A1).

[0004] Ein weiteres Merkmal bekannter Brenner ist das Vorhandensein von sogenannten Stabilisatorelementen, die zur Stabilisierung von Flammen in Brennkammern verwendet werden (siehe Fig. 2). Häufigste Anwendung sind neben Stromlinienkörpern vor allem sogenannte Bluff-Body-Geometrien, die z.B. als Stauscheiben oder auch V-förmig angeordnete Stabilisatoren ausgebildet sein können (z.B. US 4445339 und WO 10/860659). Durch die Platzierung eines Staukörpers in die Strömung wird die Strömungsgeschwindigkeit im Nachlauf des Stabilisators reduziert. Die Strömung erfährt am Rand des Staukörpers eine starke Beschleunigung, so dass infolge des hohen Druckgradienten stromab des Staukörpers eine Ablösung der Grenzschicht auftritt, verbunden mit der Ausbildung eines rezirkulierenden Wirbelsystems im Nachlauf des Staukörpers. Befindet sich am Rand der Rezirkulationszone ein verbrennungsfähiges Gemisch bzw. sind in der Umgebung des Staukörpers bereits heiße Verbrennungsprodukte vorhanden, steigt durch das Eindringen eines zündfähigen Gemisches bzw. der heißen Verbrennungsprodukte in die Rezirkulationszone die Wahrscheinlichkeit für eine Annäherung der Flammengeschwindigkeit an die Strömungsgeschwindigkeit.

[0005] Für die bekannten Brennerkonzepte ist die lokale Kraftstoff-Luft-Mischung nicht kontrolliert einstellbar. Insbesondere bei den bereits angesprochenen Filmlegerkonzepten besteht das Problem, dass mit einer angestrebten homogenen axialen und umfangsmäßigen Beladung des Kraftstoffs auf dem Filmleger zwar eine sehr gute Kraftstoff-Luft-Mischung mit im Mittel niedrigen Verbrennungstemperaturen und damit niedrigen NOx-Emissionen erreicht werden kann, allerdings kann die für Hochlastbedingungen angestrebte homogene Gemischbildung bei Teillastbedingungen infolge einer ungenügenden Kraftstoffbeladung auf dem Filmleger zu einer deutlichen Verschlechterung des Brennkammerausbrandes führen (siehe Fig. 6). Hintergrund ist die mit mageren Gemischen verbundene verringerte Wärmefreisetzung sowie die Eigenschaft zur lokalen Flammenverlöschung bei sukzessiver Reduktion des Kraftstoffs und geringem Brennkammerdruck und -temperatur.

[0006] Auch hinsichtlich der Flammenverankerung mittels der bekannten Stabilisatoren sind Nachteile vorhanden. Allgemein lässt sich über die Dimension des Flammenhalters, wie z.B. den äußeren Durchmesser und den Widerstandsbeiwert der Strömungsblockage, eine Einstellung der Größe der Rezirkulation im Nachlauf des Stabilisators erzielen. Eine Anwendung für einen Flammenhalter für einen schadstoffarmen Magerbrenner ist z.B. aus (US 6 272 840 B1) bekannt. Nachteil einer solchen Anwendung ist jedoch, dass mit Hilfe der gewählten Geometrie des Flammenstabilisators nur eine bestimmte Strömungsform einstellbar und die Scherschicht zwischen der beschleunigten und der verzögerten Strömung durch sehr hohe Turbulenz gekennzeichnet ist. Für einen derartigen Flammenstabilisator mit V-förmiger Geometrie ist bekannt, dass durch die Ausbildung einer starken Strömungsbeschleunigung ("Jet") im Nachlauf eines zentral auf der Brennerachse angeordneten Pilotbrenners eine hohe Magerverlöschstabilität der Flamme erzielt werden kann. Dies wird durch eine kontinuierliche Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit des Pilotstrahls weiter stromab, die Ausbildung einer Rezirkulation im Nachlauf des Flammenstabilisators und die Rückführung von heißen Verbrennungsgasen stromauf in die Nähe des Stabilisators erreicht (siehe Fig. 3). Allerdings können mit dieser Flammenstabilisierung oftmals erhöhte Ruß- und Stickoxid-Emissionen (NOx) auftreten. Diese Strömungsform kann beispielsweise durch einen kleinen Austrittsdurchmesser $A = A_1$ für den inneren Schenkel des Flammenstabilisators erreicht werden.

[0007] Als Stand der Technik ist weiterhin auf die US 2002/0011064 A1 zu verweisen.

[0008] Eine andere Strömungsform zeichnet sich durch ein sog. "Aufklappen" der Strömung und der Ausbildung eines Rezirkulationsgebietes auf der Brennerachse aus (siehe Fig. 4). Dieser Effekt des "Aufklappens" der Strömung und der Ausbildung einer großen Rückströmzone auf der Brennerachse kann durch eine Vergrößerung des Austrittsdurchmessers $A = A_2$ erreicht

werden. Neben der zentralen Rezirkulation ist bei dieser Variante des Flammenstabilisators zusätzlich ein abgeschwächtes Rezirkulationsgebiet im Nachlauf des Stabilisators vorhanden. Als Konsequenz dieser Anordnung werden geringere Ruß- und NO_x-Emissionen begünstigt, jedoch bei gleichzeitiger Verringerung der Flammenstabilität gegenüber Magerverlöschungen.

[0009] Aus den beschriebenen Effekten ist zu erkennen, dass mit den bisher bekannten Flammenstabilisatorgeometrien nur eine spezifische Strömungsform einstellbar ist, die jedoch nur zur Verbesserung einiger Betriebsparameter, wie z.B. der Magerverlöschstabilität beiträgt, während gleichzeitig eine Verschlechterung anderer Betriebsparameter, wie z.B. der Ruß- und NO_x-Emissionen, zu beobachten ist.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Gasturbinenmagerbrenner der eingangs genannten Art zu schaffen, welcher bei einfachem Aufbau unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik geringe Schadstoffemissionen, eine verbesserte Flammenstabilität und einen hohen Brennkammerausbrand aufweist.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lösung.

[0012] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1: Stand der Technik, Brenner für eine Fluggasturbine (US 6 543 235 B1);

Fig. 2: Stand der Technik, Beispiel eines konventionell ausgebildeten Flammenstabilisators mit V-Form Geometrie (US 6 272 840 B1);

Fig. 3: Stand der Technik, Berechnete Strömungsform in Abhängigkeit vom Austrittsdurchmesser des inneren Schenkels des Flammenstabilisators, Beispiel für eine Brennkammerströmung mit ausgeprägter dezentraler Rezirkulation im Nachlauf des Flammenstabilisators infolge eines kleinen Austrittsdurchmessers $A = A_1$;

Fig. 4: Stand der Technik, Berechnete Strömungsform in Abhängigkeit vom Austrittsdurchmesser des inneren Schenkels des Flammenstabilisators, Beispiel für eine Brennkammerströmung mit zentraler Rezirkulation und deutlich verkleinertem Rezirkulationsgebiet im Nachlauf des Flammenstabilisators infolge eines vergrößerten Austrittsdurchmessers $A = A_2$;

Fig. 5: Berechnete "gemischte" Strömungsform mit zentraler Rezirkulation sowie ausgeprägter dezentraler Rezirkulation im Nachlauf eines

konturierten Flammenstabilisators infolge eines im Umfang veränderlichen Austrittsdurchmessers des Flammenstabilisators $A_1 \leq A \leq A_2$;

Fig. 6: Brennkammerausbrand vs. Brennstoffanteil des Pilotbrenners, Schematische Darstellung des Ausbrandverhaltens für einen Filmleger sowie für eine diskrete Kraftstoffstrahleindüsung für die Hauptstufe des Magerbrenners bei Teillastbedingungen;

Fig. 7: Hauptkomponenten für den erfindungsgemäßen Magerbrenner, Ausführungsvariante mit diskretem Kraftstoffeintrag des Hauptkraftstoffs über Einzelbohrungen an der inneren Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung sowie mit blütenförmiger Geometrie für den inneren Schenkel des Flammenstabilisators;

Fig. 8: Hauptkomponenten für den erfindungsgemäßen Magerbrenner, Ausführungsvariante mit diskretem Kraftstoffeintrag des Hauptkraftstoffs über einen Filmspalt an der inneren Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung sowie mit blütenförmiger Geometrie für den inneren Schenkel des Flammenstabilisators;

Fig. 9: Berechnete Umfangsverteilung der Kraftstoff-Luft-Verteilung im Nachlauf der Hauptkraftstoffeinspritzung des Brenners: Ausführungsform mit gezielter Inhomogenität des Kraftstoffeintrags durch angestellte diskrete Kraftstoffbohrungen (Beispiel, $n = 24$);

Fig. 10: Hauptstufe des erfindungsgemäßen Brenners: Darstellung der berechneten Strahleindringung in den mittleren Strömungskanal;

Fig. 11: Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Brenners mit Darstellung der Anstellung der Kraftstoffbohrungen in axialer Richtung δ_1 sowie Anstellung der inneren stromabseitigen Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung β ;

Fig. 12: Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Brenners mit Darstellung der Anstellung der Kraftstoffbohrungen in Umfangsrichtung δ_2 ;

Fig. 13: Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Brenners mit filmartiger Platzierung des Hauptkraftstoffs mit lokalen Kraftstoffanreicherungen, schematische Darstellung der stromaufseitigen Zumessung des Hauptkraftstoffs über Einzelbohrungen;

- Fig. 14: Ausführungsform für einen Flammenstabilisator mit Konturierung der Austrittsgeometrie des inneren Schenkels, blütenförmige Geometrie;
- Fig. 15: Weitere Ausführungsform für einen Flammenstabilisator mit stärkerer Konturierung der Austrittsgeometrie des inneren Schenkels, blütenförmige Geometrie;
- Fig. 16: Weitere Ausführungsform für einen Flammenstabilisator mit Konturierung der Austrittsgeometrie des inneren Schenkels, blütenförmige Geometrie mit gegenüberliegenden asymmetrischer Variation des Austrittsdurchmessers;
- Fig. 17: Weitere Ausführungsform für einen Flammenstabilisator mit Konturierung der Austrittsgeometrie des inneren Schenkels, exzentrische Austrittsgeometrie;
- Fig. 18: Ausführungsform für einen Flammenstabilisator mit variabler Austrittsgeometrie, Darstellung von Positionierungsmöglichkeiten von variablen Geometrieelementen (z.B. Piezo- oder Bi-Metall-Elemente) in den unteren und oberen Schenkel des Flammenstabilisators, und
- Fig. 19: eine Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Brenners mit filmartiger Platzierung des Hauptkraftstoffs mit lokalen Kraftstoffanreicherungen durch Turbulatoren stromab des Filmspalts.

[0013] Erfindungsgemäß ist ein mit Luftüberschuss betriebener Brenner (siehe Fig. 7) geschaffen, der eine Pilot- 17 und eine Hauptkraftstoffeinspritzung 18 besitzt. Innerhalb der Hauptstufe wird die Einstellung einer gezielten Inhomogenität der Kraftstoff-Luft-Mischung angestrebt. Ziel ist es, eine lastabhängige Variation der Kraftstoffplatzierung in der Hauptstufe des vorgeschlagenen Magerbrenners zu erreichen, um damit den Grad der lokalen Kraftstoff-Luft-Mischung zu beeinflussen. Hintergrund ist, dass eine hohe Gemischhomogenisierung einerseits die Bildung von niedrigen NO_x-Emissionen begünstigt, andererseits eine verringerte Gemischhomogenisierung durch gezielte Ausbildung lokal fetter Gemischzonen vorteilhaft für die Erreichung eines hohen Ausbrandes der Brennkammer insbesondere bei Teillastbedingungen ist. Die zum Teil konkurrierenden Eigenschaften sollen durch die Methode der lastabhängigen Kraftstoffinhomogenität optimiert werden. Weiterhin zeichnet sich der Brenner durch einen neuartigen Flammenstabilisator zwischen dem inneren und mittleren Strömungskanal aus, der neben der Methode zur lokalen lastabhängigen Kraftstoffanreicherung zu einer verbes-

serten Strömungsführung innerhalb der Brennkammer insbesondere hinsichtlich der Interaktion der Pilot- und Hauptströmung führen soll.

[0014] Kontrollierte Kraftstoffinhomogenität durch eine diskrete Strahleindüsung:

Als bevorzugte Methode zur Einstellung von lokalen Kraftstoffinhomogenitäten wird eine diskrete Strahleindüsung über mehrere Kraftstoffbohrungen n für die Hauptstufe eines Magerbrenners vorgeschlagen. Vorzugsweise sind zwischen $n = 8$ und $n = 40$ Bohrungen vorgesehen. Die Bohrungen können dabei gleichmäßig als auch ungleichmäßig im Umfang verteilt sein. Weiterhin ist eine einreihige als auch mehrreihige sowie gestaffelte Anordnung der Bohrungen möglich. Über geeignete konstruktive Maßnahmen kann eine kontrollierte Einstellung der Eindringtiefe der diskreten Kraftstoffstrahlen und damit der Güte der lokalen Kraftstoff-Luft-Mischung erreicht werden. Der größte Druckabfall in der Hauptkraftstoffleitung und damit der die Zumessung des Kraftstoffs bestimmende Querschnitt befindet sich an bzw. in der Nähe der inneren Oberfläche der Hauptstufe 19. Die diskrete Eindüsung des Kraftstoffs über Bohrungen erfolgt unter einem bestimmten Winkel zur Brennerachse radial nach innen in den mittleren Strömungskanal 15. Die Eindüsung des Kraftstoffs der Hauptstufe kann dabei sowohl an der stromauf- als auch stromabseitigen Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung erfolgen 38, 19. Die vorgeschlagene Methode der diskreten Strahleindüsung für die Hauptstufe eines Magerbrenners zeichnet sich durch eine lastabhängige Eindringtiefe der diskreten Strahlen aus. Bei niedrigen bis mittleren Betriebsbedingungen, bei der die Hauptstufe zur Gewährleistung verringerter NO_x- und Ruß-Emissionen zusätzlich zur Pilotstufe zugeschaltet wird, ist infolge des verringerten Kraftstoffdrucks - und damit infolge eines niedrigen Kraftstoff-Luft-Impulsverhältnisses - die Eindringtiefe der diskreten Kraftstoffstrahlen gering. Bei höheren Lastbedingungen steigt das Kraftstoff-Luft-Impulsverhältnis deutlich an und führt zu einem tieferen Eindringen der Kraftstoffstrahlen in den mittleren Strömungskanal.

[0015] Ein wesentliches Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, dass die Austrittsöffnungen der diskreten Kraftstoffeindüsungen in Umfangsrichtung angestellt sind (siehe Fig. 10, 12). Der Anstellwinkel der Kraftstoffstrahlen in Umfangsrichtung soll im Bereich zwischen $10^\circ \leq \delta_2 \leq 60^\circ$ liegen. Dies kann durch eine - in Relation zur verdrehten Luftströmung des mittleren Luftkanals 15 - gleichsinnige oder gegensinnige Orientierung sein. Generell können die Kraftstoffstrahlen mit individuellen Winkeln angestellt δ_2 sein. Durch die erfolgte Umfangsanstellung der Kraftstoffstrahlen wird gegenüber einer unverdrehten Einspritzung mit $\delta_2 = 0^\circ$ eine deutliche Verringerung der Eindringtiefe der Strahlen erreicht, was bei

gegebener Anzahl von Eindüsungspunkten einerseits zu einer Homogenisierung der Kraftstoff-Luft-Mischung im Umfang führt und andererseits eine radiale Begrenzung der Kraftstoffplatzierung in der Nähe der inneren Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung zur Folge hat. Die Kraftstoffstrahlen können weiterhin gegenüber der Brennerachse 4 in axialer Richtung angestellt sein. Der bevorzugte axiale Anstellwinkel der Kraftstoffstrahlen liegt im Bereich zwischen $-10^\circ \leq \delta 1 \leq 90^\circ$. Wie bei der Umfangsanstellung können die Kraftstoffstrahlen mit individuellen Winkeln $\delta 1$ angestellt sein. Auch die Ausnehmungen können auch individuell angestellt sein (sowohl hinsichtlich $\delta 1$ als auch $\delta 2$).

[0016] Bei niedrigen bis mittleren Lastbedingungen führen die beschriebenen Effekte vor allem zu einer Verbesserung des Brennkammerausbrandes infolge lokaler Kraftstoffanreicherung. Bei höheren Lastbedingungen bis zu Vollastbedingungen stellt sich durch einen höheren Kraftstoffdruck und damit auch höherer Kraftstoffgeschwindigkeit der Einzelstrahlen eine größere Eindringtiefe der Strahlen ein. Die damit verbundene Intensivierung der Strahldispersion führt bei gegebener Umfangsanstellung der Kraftstoffstrahlen zu einer weiteren Vergleichmäßigung der Kraftstoff-Luft-Mischung in radialer Richtung und Umfangsrichtung. Mit dieser Methode der starken Anstellung der Kraftstoffstrahlen $\delta 1$, $\delta 2$ lassen sich bei Hochlastbedingungen magere Kraftstoff-Luft-Verhältnisse einstellen.

[0017] Kontrollierte Kraftstoffinhomogenität durch einen Kraftstofffilm mit lokalen Kraftstoffanreicherungen:

In Fig. 9 ist in einer Querschnittsdarstellung eine berechnete Umfangsverteilung der Kraftstoff-Luft-Mischung für die Anwendung von stark angestellten Kraftstoffstrahlen für die Hauptstufe gezeigt. Es sind lokal magere Gemische 32 sowie im Bereich der Strahleindringung in den mittleren Strömungskanal lokal kraftstoffangereicherte Zonen 31 zu erkennen. Neben der Zumessung des Kraftstoffs über Bohrungen an oder nahe der Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung 38, 19 besteht ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung in der Zumessung des Kraftstoffs für die Hauptstufe weiter stromauf in der Kraftstoffpassage. Eine gegenüber der diskreten Kraftstoffeindüsung für die Hauptstufe geänderte Kraftstoffplatzierung über einen Filmspalt im Austritt der Kraftstoffpassage ist in Fig. 8 dargestellt. Über diskrete Kraftstoffbohrungen 41 wird der Hauptkraftstoff zunächst stromauf der Austrittsfläche der Kraftstoffpassage zugemessen (siehe Fig. 13). Sowohl die Anzahl der Bohrungen n als auch die Umfangsanstellung der Bohrungen $\delta 2$ entsprechen hierbei den bereits beschriebenen Parameterbereichen für den Fall der Integration der Kraftstoffbohrungen an oder nahe der inneren Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung 19, 38. Über eine geeignete Strömungsführung durch ein inneres und äußeres Wanelement der Kraftstoffpassage 40, 43 wird ein

Teil des Kraftstoffimpulses bereits vor dem Einspritzen in den mittleren Strömungskanal 15 abgebaut. Ziel ist die Erzeugung eines Kraftstofffilms mit in Umfangsrichtung kontrolliert einstellbaren Kraftstoffinhomogenitäten (ähnlich zu der in Fig. 9 gezeigten Kraftstoff-Luft-Verteilung).

[0018] Dies kann durch zwei unterschiedliche Methoden verwirklicht werden. Die erste Methode besteht in der Zumessung des Hauptkraftstoffs durch diskrete Kraftstoffbohrungen stromauf der Austrittsfläche der Hauptkraftstoffpassage und der direkten Einstellung eines in Umfangsrichtung kontrolliert inhomogenen Kraftstoff-Luft-Gemisches. Dies kann durch eine geeignete Wahl der Anzahl, Anordnung und Anstellung der Kraftstoffbohrungen sowie durch die Gewährleistung einer geringen Interaktion der eingedüsten Kraftstoffstrahlen mit dem bereits beschriebenen Wanelement innerhalb der Kraftstoffstufe erreicht werden. Damit besitzen die in den mittleren Strömungskanal eingedüsten Kraftstoffstrahlen noch einen definierten Geschwindigkeitsimpuls. Während der Kraftstofffilm für bekannte Filmlegerkonzepte nahezu keinen Kraftstoffimpuls aufweist, ist infolge der Strömungsführung, der kurzen Lauflänge des Hauptkraftstoffs zwischen der inneren Oberfläche der Hauptstufe 19, 38 und der Lage der Bohrungen 41 eine - wenn auch verringerte - lastabhängige Eindringtiefe eines mehr oder weniger geschlossenen Kraftstofffilms bzw. an einen Kraftstofffilm angenäherten Kraftstoffeintrag einstellbar.

[0019] Zur Zumessung des Kraftstoffs über diskrete Ausnehmungen sind stromauf einer Austrittsfläche einer Hauptkraftstoffleitung und zur Erzeugung eines Kraftstofffilms mit definierten Kraftstoffstrahlen zusätzliche Wanelemente stromab des Filmspaltes, z.B. Turbulatoren/Turbolatoren, Lamellengeometrien, etc., vorgesehen, die zu einer Ausbildung von Kraftstoffinhomogenitäten in Umfangsrichtung führen.

[0020] Als eine weitere Methode zur Einstellung einer in Umfangsrichtung vorhandenen Inhomogenität der Kraftstoff-Luft-Mischung wird bei der Verwendung eines Kraftstofffilms eine "nachträgliche" lokale Anfeuchtung des Kraftstofffilms in Umfangsrichtung vorgeschlagen (Fig. 19). Diese Inhomogenitäten in der Kraftstoffverteilung können durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden, z.B. von auf der Filmlegeroberfläche platzierten Turbulatoren, einer geeigneten Gestaltung der Hinterkante des Filmlegers (z.B. gewellte Anordnung, Lamellenform). Die genannten Methoden zur lokalen Einstellung von Inhomogenitäten für den Kraftstofffilm können sich dabei innerhalb des mittleren Strömungskanals sowohl stromauf und/oder stromab des Filmspaltes befinden.

[0021] Weiterhin ist erfindungsgemäß bevorzugterweise vorgesehen, die Anordnung der Turbulatoren auf der Oberfläche des Filmlegers wie folgt vorzusehen: stromauf oder stromab des Filmspaltes, dann jeweils 1-reihig oder mehrreihig, mit/ohne Umfangsanstellung,

aber auch eine im Umfang geschlossene Ringgeometrie des Turbulators (z.B. eine umlaufende Kante/ Stufe).

[0022] Methoden zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im mittleren Strömungskanal:

Ein wesentliches Merkmal der vorgeschlagenen Erfindung ist weiterhin die Intensivierung des Strahlzerfalls der diskreten Einzelstrahlen bzw. des Filmzerfalls eines im Umfang kontrolliert inhomogenen Kraftstofffilms zur Reduktion der mittleren Tropfendurchmesser des erzeugten Kraftstoffsprays. Dies soll durch die Einspritzung des Hauptkraftstoffs in Strömungsgebiete mit hoher Strömungsgeschwindigkeit im mittleren Luftkanal verwirklicht werden 36. Der Flammenstabilisator 24, der sich zwischen der Pilot- und der Hauptstufe befindet, ist mit einem an die Geometrie der Hauptstufe angepassten äußeren Umlenkring (Schenkel) versehen 26. Dieser Umlenkring ist in Bezug zur Brennerachse mit einem definierten Winkel angestellt, wobei der Anstellwinkel α zwischen 10° und 50° liegen kann. Eine weitere Maßnahme zur Strömungsbeschleunigung im Nachlauf der Schaufeln für den mittleren Luftkanal ist das Vorsehen eines definierten Anstellwinkels für die innere Wand der Hauptstufe 19. Dieser Anstellwinkel liegt - bezogen auf die nicht abgelenkte Hauptströmungsrichtung - im Bereich zwischen $5^\circ \leq \beta \leq 40^\circ$ (siehe Fig. 11). Die beschriebenen Methoden - Anstellung des äußeren Umlenkings, und Anstellung der inneren Wand der Hauptstufe - führen zu einer deutlichen Beschleunigung der Luftströmung im mittleren Luftkanal im Nachlauf der Schaufeln. Der Strömungskanal ist so ausgelegt, dass sich das Gebiet der höchsten Strömungsgeschwindigkeiten nahe der Eindüsung des Hauptkraftstoffs befindet.

[0023] Methoden zur Vermeidung eines Strömungsabrisses im äußeren Strömungskanal sowie zur Verbesserung der Kraftstoffaufbereitung der Haupteinspritzung:

Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die geeignete konstruktive Gestaltung der äußeren Brennrings 27. Die innere Kontur der Ringgeometrie 28 ist so ausgelegt, dass in Abhängigkeit von der Anstellung der äußeren Wand der Hauptstufe 20 unter keinen Betriebsbedingungen ein Abreißen der Luftströmung im äußeren Luftkanal eintritt (siehe Fig. 11). Damit soll eine möglichst verlustreduzierte Strömung ohne Strömungsrezirkulation im Nachlauf des äußeren Luftdrallerzeugers 13 gewährleistet werden. Weiterhin ist die Profilierung der inneren Kontur der Ringgeometrie so gewählt, dass ein hoher Luftanteil aus dem äußeren Strömungskanal für die Kraftstoff-Luft-Mischung der Hauptkraftstoffeinspritzung bereitgestellt wird.

[0024] Konturierter Flammenstabilisator, feste Geometrie:

Um neben einer Verbesserung des Brennkammerausbrandes auch eine Senkung der Schadstoffemissionen über einen weiten Lastbereich zu erreichen, erscheint die Einstellung einer gemischten und/oder lastabhängigen Strömungsform mit einer definierten Interaktion der Pilot- und Hauptflamme als vorteilhaft. Eine zu starke Separation der Pilot- und Hauptflamme soll vermieden werden. Generell wird erwartet, dass eine starke Separierung beider Zonen zu einem verbesserten Betriebsverhalten des Brenners führen kann, wenn vorzugsweise die Pilot- bzw. die Hauptstufe betrieben wird. Dies ist z.B. der Fall im unteren Lastbereich (nur die Pilotstufe wird mit Kraftstoff versorgt) und im Hochlastbetrieb (der überwiegende Anteil des Kraftstoffs wird auf die mager operierende Hauptstufe verteilt). Allerdings kann dadurch über einen weiten Teil des Betriebsbereiches, insbesondere im Teillastbereich (z.B. Reiseflugbedingung, Stufungspunkt), eine Verminderung des Brennkammerausbrandes stattfinden, da ein vollständiger Ausbrand des Kraftstoffs für die mit hohem Luftüberschuss operierende Hauptstufe kritisch ist. Aus diesem Grund wird eine kontrollierte Interaktion beider Verbrennungszonen angestrebt, um mit Hilfe der heißen Verbrennungsgase der Pilotstufe eine Temperaturerhöhung in der Hauptreaktionszone zu bewirken.

[0025] Erfindungsgemäß vorgesehen werden unterschiedliche Geometrien für Flammenstabilisatoren 24, die die definierte Einstellung eines Strömungsfeldes mit ausgeprägten Eigenschaften zentraler und dezentraler Rezirkulation ermöglichen. Allgemein wird eine spezifische Konturierung, sowohl in axialer als auch Umfangsrichtung, des Flammenstabilisators vorgeschlagen. Eine Ausführungsform mit einer blütenförmigen Geometrie für den Austrittsquerschnitt eines Flammenstabilisators ist in Fig. 14 gezeigt. Der Durchmesser der Austrittsfläche variiert zwischen einem minimalen Durchmesser A1, der zu einer ausgeprägten dezentralen Rezirkulation im Nachlauf des V-förmig ausgebildeten Flammenstabilisators führen kann, und einem maximalen Durchmesser A2, der die Ausbildung einer zentralen Rezirkulation auf der Brennerachse begünstigt. Insbesondere durch die Umfangsvariation des Austrittsdurchmessers A des Flammenstabilisators wird erwartet, dass sowohl eine zentrale als auch dezentrale Rezirkulation gezielt eingestellt werden kann.

[0026] Neben der in Fig. 14 dargestellten Ausführungsvariante für einen konturierten Flammenstabilisator mit 8 sogenannten "Blüten" werden weitere Ausführungsvarianten vorgeschlagen, wobei die vorgeschlagenen Geometrien zwischen 2 und 20 "Blüten" aufweisen können. In Fig. 15 ist eine weitere Ausführung für einen etwas stärker konturierten Flammenstabilisator mit 8 "Blüten" gezeigt, bei der der Durchmesser A1 reduziert und gleichzeitig der Durchmesser A2 erhöht wurde. Damit erfährt die Strömung lokal eine Strömungsbeschleunigung.

nigung bzw. -verzögerung, was zu einem stark dreidimensionalen Strömungsgebiet mit einerseits zentraler als auch dezentraler Rezirkulation führt (siehe Fig. 5).

[0027] Eine weitere Ausführungsform sieht die umfangsmäßige Ausrichtung der 3D-Wellengeometrie (Konturierungen) des Flammenstabilisators am effektiven Drallwinkel der umgelenkten Luftströmung für die innere Pilotstufe und/oder am effektiven Drallwinkel der umgelenkten Luftströmung für die radial außen angeordnete Hauptstufe vor.

[0028] In Fig. 16 ist eine weitere Ausführungsform des konturierten Flammenstabilisators gezeigt. Die Konturierung des inneren Schenkels des Flammenhalters weist 5 Blüten auf, wobei durch die Anzahl und Anordnung der Blüten eine Durchmesservariation mit einer kontrollierten Asymmetrie in der Strömungsführung der Pilotströmung erreicht wird. Damit wird in einer Schnittebene sowohl eine starke Strömungsbeschleunigung als auch infolge der Querschnittserweiterung eine Umlenkung und Strömungsverzögerung umgesetzt. Hinsichtlich der einstellbaren Asymmetrie in der Pilotströmung ist in Fig. 17 eine weitere Ausführungsform eines Flammenstabilisators mit einer exzentrischen Positionierung dargestellt. Eine zusätzliche Möglichkeit der Konturierung von 25 ist ein Sägezahn-Profil.

[0029] Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung bezüglich der Ausbildung des Flammenstabilisators ist neben der beschriebenen Konturierung des inneren Schenkels 25 eine Konturierung des äußeren Schenkels des Flammenstabilisators 26, wobei die für den inneren Schenkel des Flammenstabilisators vorgeschlagenen Geometrien auch für den äußeren Schenkel 26 verwendet werden können.

[0030] Konturierter Flammenstabilisator, variable Geometrie:

Zur kontrollierten Einstellung eines Strömungsfeldes mit unterschiedlichen Rückströmzonen wird neben einer geometrisch festen Geometrie eines konturierten Flammenstabilisators eine variable Geometrie vorgeschlagen. Der Vorteil einer variablen Geometrie ist, dass in Abhängigkeit vom Lastzustand eine gewünschte Strömungsform in der Brennkammer eingestellt werden kann und somit das Betriebsverhalten des Brenners hinsichtlich Schadstoffreduktion, Ausbrand und Flammenstabilität positiv beeinflusst werden kann. Als eine Möglichkeit zur Anpassung des Strömungsfeldes mit Hilfe einer variablen Geometrie für den Flammenstabilisator wird z.B. die Integration von Piezo-Elementen als Zwischenelement oder direkt an der Hinterkante des inneren oder äußeren Schenkels des Flammenstabilisators vorgeschlagen. Bei diesen Elementen soll das Prinzip der spannungsabhängigen Feldausdehnung ausgenutzt werden. Dies bedeutet, dass im Originalzustand, d.h. ohne Spannungsbelastung der Piezo-Elemente, ein vergrößerter Austrittsquerschnitt des Flammenstabilisators vorhanden ist. Die-

ser Zustand entspricht dem Vorhandensein eines vergrößerten Austrittsdurchmessers A2, der das Ausbilden einer vorwiegend dezentralen Rezirkulationszone begünstigt. Bei Anlegen eines Spannungszustandes tritt eine Materialausdehnung mit einer radialen Komponente in Richtung Brennerachse auf (siehe Fig. 18). Dies führt zu einem kleinen Austrittsquerschnitt und in Kombination mit einem erniedrigten Luftdrall für die Pilotstufe zur Generierung eines ausgeprägten Rückströmgebietes im Nachlauf des Flammenstabilisators. Dies führt u.a. zu einer deutlichen Verbesserung der Flammenstabilität hinsichtlich einer Verlöschung bei magerem Betrieb des Brenners.

[0031] Als ein weiteres Prinzip der variablen Einstellung der Strömungsform über eine Anpassung der Austrittsgeometrie des Flammenstabilisators wird die Implementierung von Bimetall-Elementen in die Geometrie des Flammenhalters vorgeschlagen. Zunutze gemacht wird das Prinzip der temperaturabhängigen Materialausdehnung. Beispielsweise können Bimetall-Elemente in den vorderen Teil des Flammenstabilisators oder an der Hinterkante des Flammenstabilisators integriert werden, um eine gewünschte Änderung der Austrittsgeometrie zu erreichen.

[0032] Vorteile der Erfindung:

Der wesentliche Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt in der kontrollierten Einstellung der Kraftstoff-Luft-Mischung für die Hauptstufe eines mager betriebenen Brenners. Durch das Vorhandensein lokal fetter Gemische kann mit den beschriebenen Maßnahmen ein ausreichend hoher Brennkammerausbrand insbesondere bei niedrigen bis mittleren Lastbedingungen erreicht werden. Über die Anstellung der Kraftstoffstrahlen (insbesondere im Umfang) kann zudem bei Hochlastbedingungen eine im Umfang verbesserte Kraftstoff-Luft-Mischung erzielt werden, so dass ähnlich zu einem optimierten Filmleger sehr geringere NOx-Emissionen entstehen.

[0033] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Möglichkeit einer kontrollierten Einstellung eines "gemischten" Strömungsfeldes mit ausgeprägten zentralen und dezentralen Rezirkulationsgebieten. Es wird erwartet, dass durch das Vorhandensein einer zentralen Rezirkulation einerseits die NOx-Emissionen signifikant gesenkt werden können als auch durch die Einstellung einer ausreichenden Rückströmzone im Nachlauf des Flammenstabilisators eine sehr hohe Flammenstabilität gegenüber Magerverlöschen erreicht werden kann. Weiterhin wird erwartet, dass die Interaktion zwischen der Pilot- und Hauptflamme kontrollierter eingestellt werden kann, da in Abhängigkeit von der 3D-Kontur des Flammenstabilisators die Möglichkeit vorhanden ist, unterschiedliche Strömungszustände mit mehr oder wenig starker Interaktion der Pilot- und Hauptströmung zu generieren. Mit

Hilfe dieser gezielten Erzeugung einer "gemischten" Strömungsform kann der Betriebsbereich des Magerbrenners zwischen Niedrig- und Vollast deutlich erweitert werden.

[0034] Ein weiterer Vorteil der Erfindung wird im Bereich der Zündung der Pilotstufe erwartet. Infolge der konturierten Geometrie der Austrittsfläche mit lokal erhöhten Teilkreisdurchmessern A2 wird eine radiale Aufweitung (Dispersion) des Pilotsprays generiert, die zu einer verbesserten Gemischaufbereitung führen kann. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein größerer Teil des Pilotsprays in die Nähe der Brennkammerwand in den Bereich der Zündkerze geführt werden kann und somit - in Abhängigkeit von der lokalen Kraftstoff-Luft-Mischung - die Zündeigenschaften des Brenners verbessert werden können. Ein weiterer Vorteil der dreidimensionalen Konturierung des Flammenstabilisators ist eine Vergleichmäßigung der Strömung und somit die Reduzierung des Auftretens von möglichen Strömungsinstabilitäten, die sich oftmals im Nachlauf von Staukörpern - insbesondere in der Scherschicht - ausbilden können.

[0035] Der Vorteil einer variablen Anpassung des Austrittsquerschnitts des Flammenstabilisators und damit letztendlich der Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit liegt in der Möglichkeit, zentrale oder dezentrale Rezirkulationszonen innerhalb der Brennkammer in Abhängigkeit vom aktuellen Betriebszustand "automatisch" einzustellen. Mit Hilfe dieser Methode wäre es möglich, in einem bestimmten Betriebsbereich eine zentrale Strömungsrezirkulation auf der Brennerachse zu generieren, die infolge des "Aufklappens" der Pilotströmung und der entsprechenden Interaktion zwischen der Pilot- und Hauptflamme die Reduktion der NO_x-Emissionen insbesondere im Hochlastbereich begünstigt. Andererseits kann eine hohe Flammenstabilität im unteren Lastbereich erreicht werden, indem über eine Verringerung der Austrittsfläche des Flammenstabilisators eine deutliche Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit begünstigt wird. Damit wird eine gezielte Optimierung des Brennerverhaltens für unterschiedliche Betriebszustände möglich.

Bezugszeichenliste

[0036]

- 1 Kraftstoffdüse
- 2 Brennkammer
- 3 Brennkammerströmung
- 4 Brennerachse
- 5 zentrales Rezirkulationsgebiet
- 6 Rezirkulationsgebiet im Nachlauf des Flammenstabilisators
- 7 Kraftstoffeintrag für die Hauptstufe
- 8 Kraftstoffeintrag für die Pilotstufe
- 9 Kraftstoff-Luft-Gemisch der Hauptstufe
- 10 Kraftstoff-Luft-Gemisch der Pilotstufe
- 11 innerer Luftdrallerzeuger

- 12 mittlerer Luftdrallerzeuger
- 13 äußerer Luftdrallerzeuger
- 14 innerer Strömungskanal
- 15 mittlerer Strömungskanal
- 5 16 äußerer Strömungskanal
- 17 Pilotkraftstoffeinspritzung
- 18 Hauptkraftstoffeinspritzung
- 19 innere stromabseitige Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung, Filmleger
- 10 20 äußere Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 21 Hinterkante der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 22 Austrittsspalt der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 23 Austrittsbohrungen der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 15 24 Flammenstabilisator
- 25 innerer Schenkel des Flammenstabilisators
- 26 äußerer Schenkel des Flammenstabilisators
- 27 äußerer Brennerring (dome)
- 20 28 innere Kontur des äußeren Brennerrings
- 29 Pilotkraftstoffzuführung
- 30 Hauptkraftstoffzuführung
- 31 lokal fettes Kraftstoff-Luft Gemisch
- 32 lokal mageres Kraftstoff-Luft Gemisch
- 25 33 Austrittsfläche der Pilotkraftstoffeinspritzung
- 34 Austrittskontur des inneren Schenkels des Flammenstabilisators
- 35 Bi-Metall-Elemente
- 36 Strömung im Nachlauf des mittleren Drallerzeugers
- 30 37 beschleunigtes Geschwindigkeitsgebiet auf der Brennerachse
- 38 innere stromaufseitige Oberfläche der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 35 39 Kraftstoffpassage der Hauptkraftstoffeinspritzung
- 40 40 äußeres Wandelement der Kraftstoffpassage der Haupteinspritzung
- 41 Alternative Zumessung des Hauptkraftstoffs über stromaufseitige Bohrungen
- 40 42 Kraftstofffilm mit lokaler Kraftstoffanreicherung in axialer und/oder Umfangsrichtung
- 43 inneres Wandelement der Kraftstoffpassage der Haupteinspritzung
- 44 Turbulatorelement zur Erzeugung von lokalen Kraftstoffinhomogenitäten auf dem Filmleger
- 45 45 Kraftstofffilm mit geringen Kraftstoffinhomogenitäten in Umfangsrichtung

50 Patentansprüche

1. Gasturbinenmagerbrenner mit einer Brennkammer (2) sowie mit einer Kraftstoffdüse (1), welche eine Pilotkraftstoffeinspritzung (17) und eine Hauptkraftstoffeinspritzung (18) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptkraftstoffeinspritzung (18) mittlere Ausnehmungen (23) zur kontrollierten inhomogenen Kraftstoffeinspritzung vornehmlich in Um-

- fangsrichtung umfasst, deren Anzahl am Umfang zwischen 8 und 40 beträgt und die einen Anstellwinkel δ_2 in Umfangsrichtung von $10^\circ \leq \delta_2 \leq 60^\circ$ und einen axialen Anstellwinkel δ_1 gegenüber der Brennerachse (4) zwischen $-10^\circ \leq \delta_1 \leq 90^\circ$ aufweisen.
2. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmungen (23) in einer einreihigen Anordnung angeordnet sind. 10
 3. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmungen (23) in einer mehrreihigen Anordnung angeordnet sind. 15
 4. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmungen (23) in einer gestaffelten Anordnung angeordnet sind. 20
 5. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Zumessung des Kraftstoffs über diskrete Ausnehmungen stromauf einer Austrittsfläche einer Hauptkraftstoffleitung und zur Erzeugung eines Kraftstofffilms mit definierten Kraftstoffstrahlen mehrere Ausnehmungen vorgesehen sind, deren Anzahl zwischen 8 und 40 beträgt und die einen Anstellwinkel δ_2 in Umfangsrichtung zwischen $10^\circ \leq \delta_2 \leq 60^\circ$ aufweisen. 25 30
 6. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Zumessung des Kraftstoffs über diskrete Ausnehmungen stromauf einer Austrittsfläche einer Hauptkraftstoffleitung und zur Erzeugung eines Kraftstofffilms mit definierten Kraftstoffstrahlen zusätzliche Wandelemente stromab des Filmspaltes vorgesehen sind, die zu einer Ausbildung von Kraftstoffinhomogenitäten in Umfangsrichtung führen. 35 40
 7. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **gekennzeichnet durch** einen V-förmigen Flammenstabilisator (24), welcher einen inneren Schenkel (25) aufweist, der in axialer Richtung und in Umfangsrichtung konturiert ist und 2 bis 20 am Umfang angeordnete Konturen einer Blütenform umfasst. 45
 8. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform gleichmäßig am Umfang verteilt sind.
 9. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform ungleichmäßig am Umfang verteilt sind. 55
 10. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform mit einer Exzentrizität der Austrittsgeometrie gegenüber der Brennerachse am Umfang verteilt sind. 5
 11. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein äußerer Schenkel (26) des V-förmigen Flammenstabilisators (24) in axialer Richtung und in Umfangsrichtung mit 2 bis 20 am Umfang angeordneter Konturen einer Blütenform konturiert ist.
 12. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform gleichmäßig am Umfang verteilt sind.
 13. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform ungleichmäßig am Umfang verteilt sind.
 14. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Konturen der Blütenform mit einer Exzentrizität der Austrittsgeometrie gegenüber der Brennerachse am Umfang verteilt sind.
 15. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **gekennzeichnet durch** einen V-förmigen Flammenstabilisator (24), welcher an einem inneren Schenkel (25) und/oder an einem äußeren Schenkel (26) mit einer variablen Geometrie versehen ist.
 16. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Hauptstufe der Kraftstoffeinspritzung zwischen 5° und 60° zur Brennerachse (4) angestellt ist.
 17. Gasturbinenmagerbrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der Oberfläche des Filmlegers Turbulatorelemente (44) angeordnet sind.
 18. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbulatorelemente (44) stromauf des Filmspalts angeordnet sind.
 19. Gasturbinenmagerbrenner nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbulatorelemente (44) stromab des Filmspalts angeordnet sind. 50

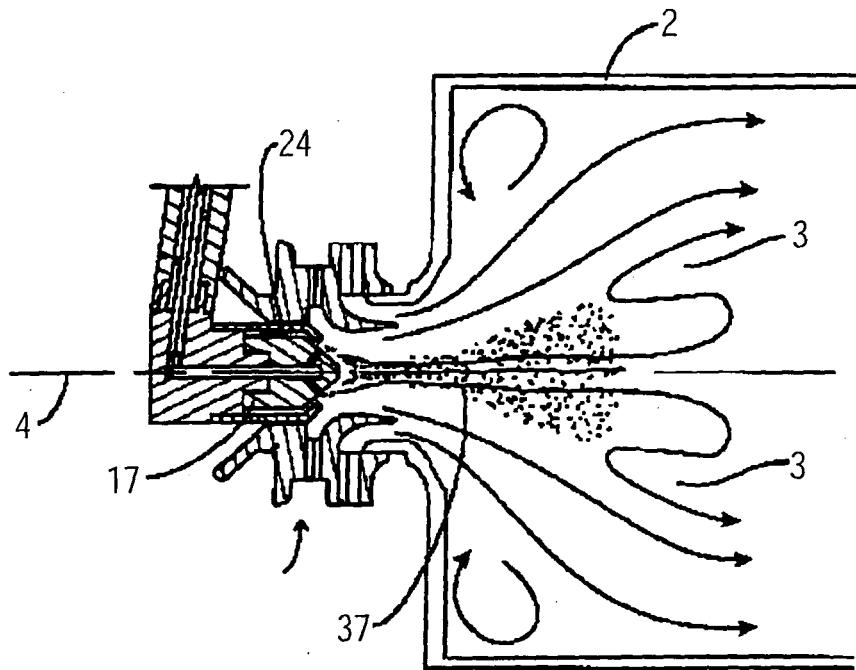


Fig.1
(Stand der Technik)

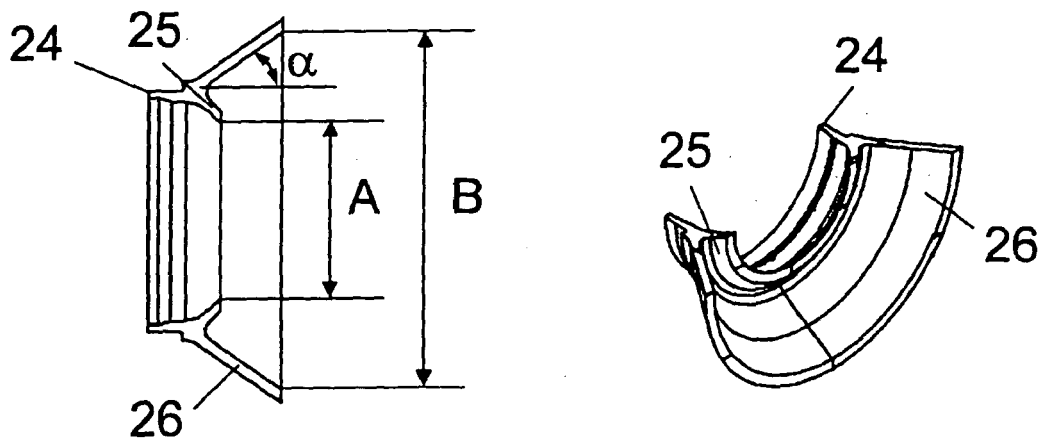


Fig.2
(Stand der Technik)

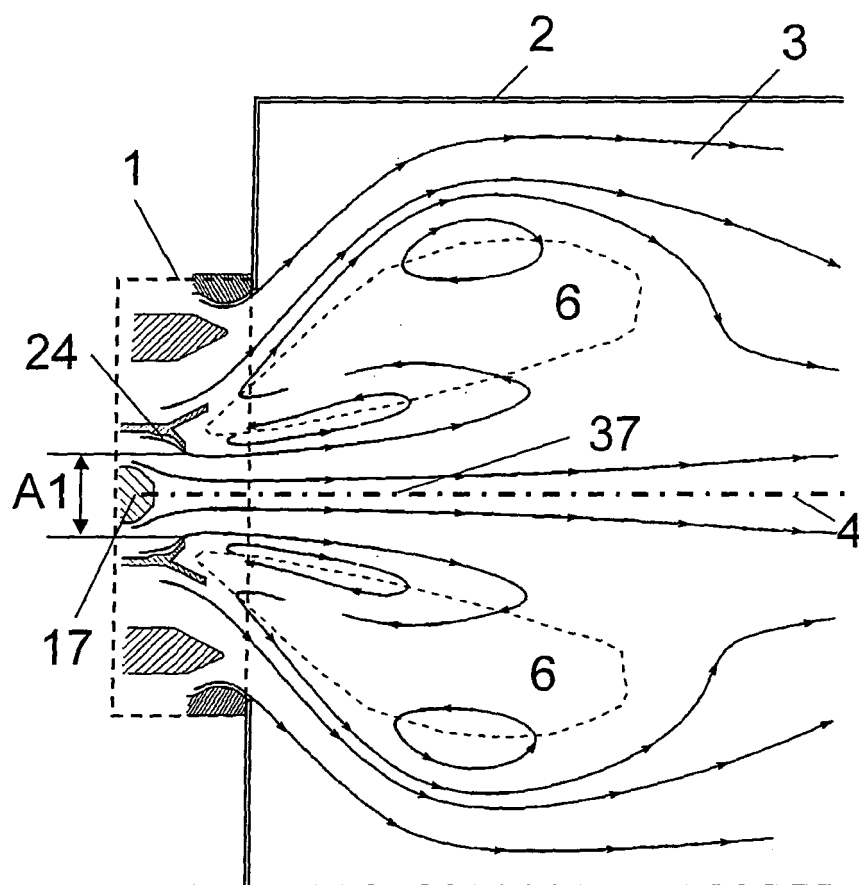


Fig.3
(Stand der Technik)

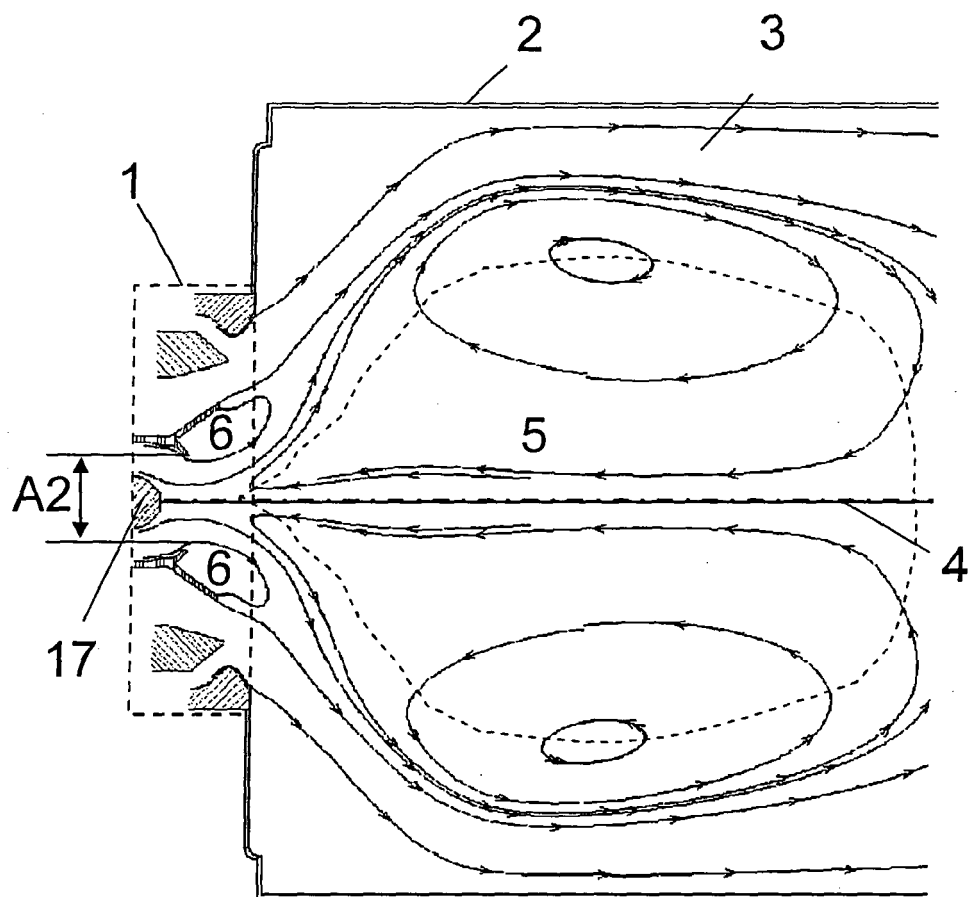


Fig.4
(Stand der Technik)

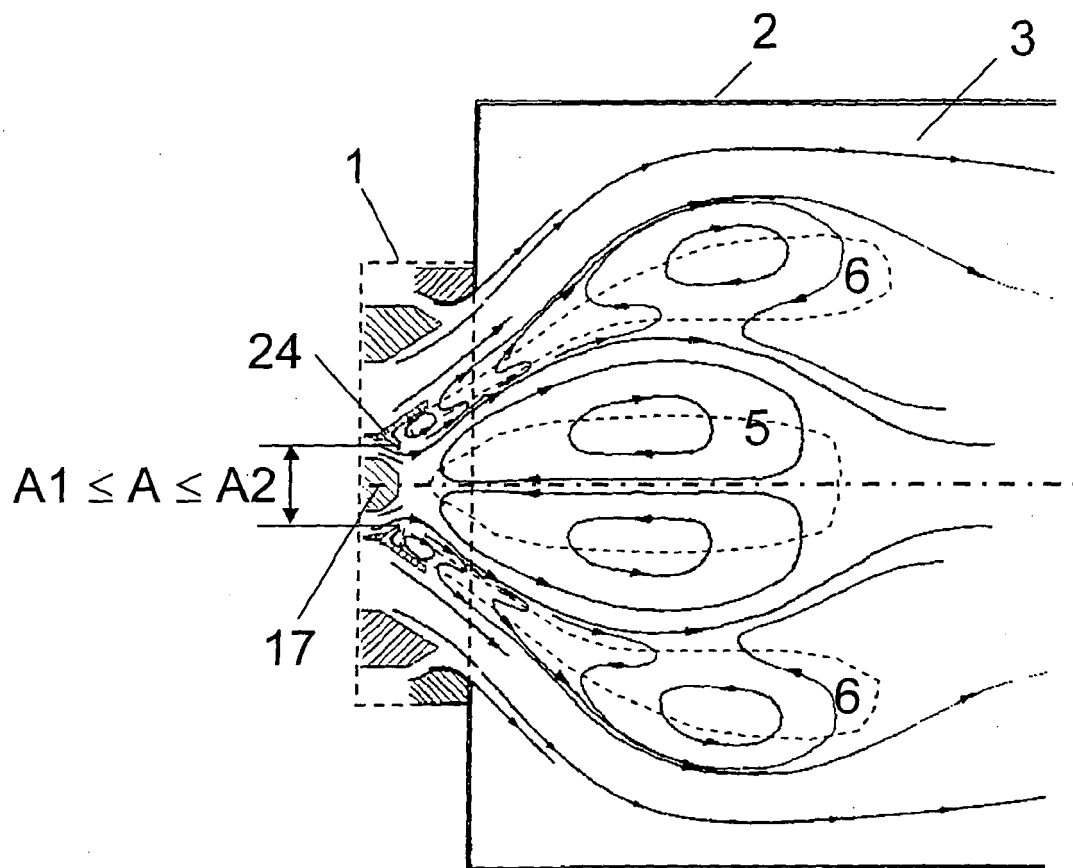


Fig.5

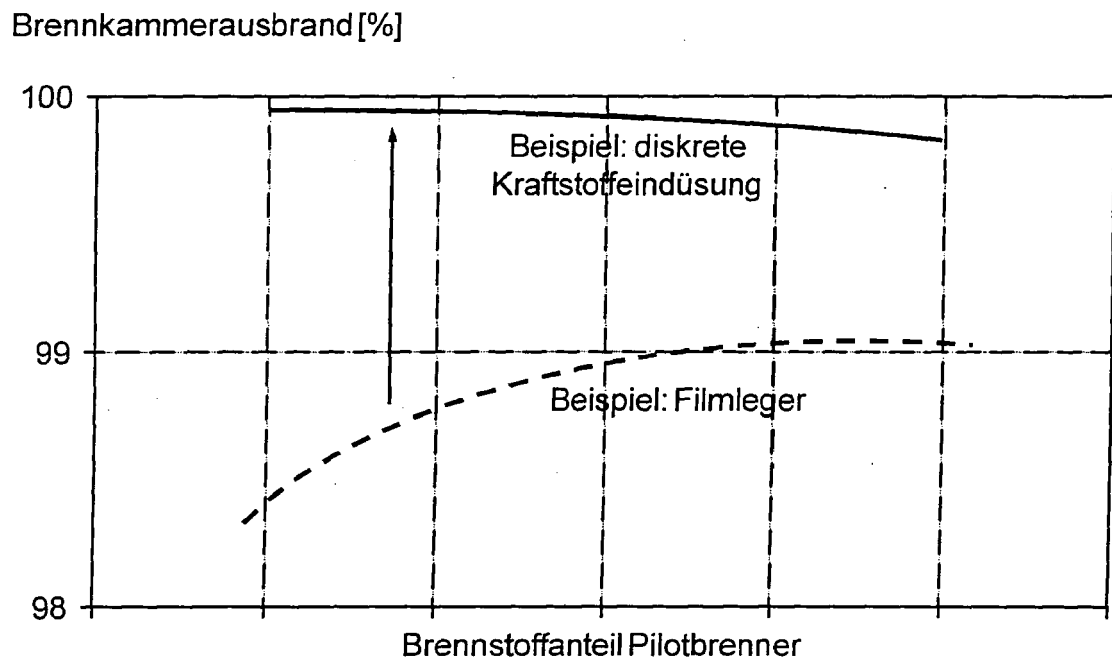


Fig.6

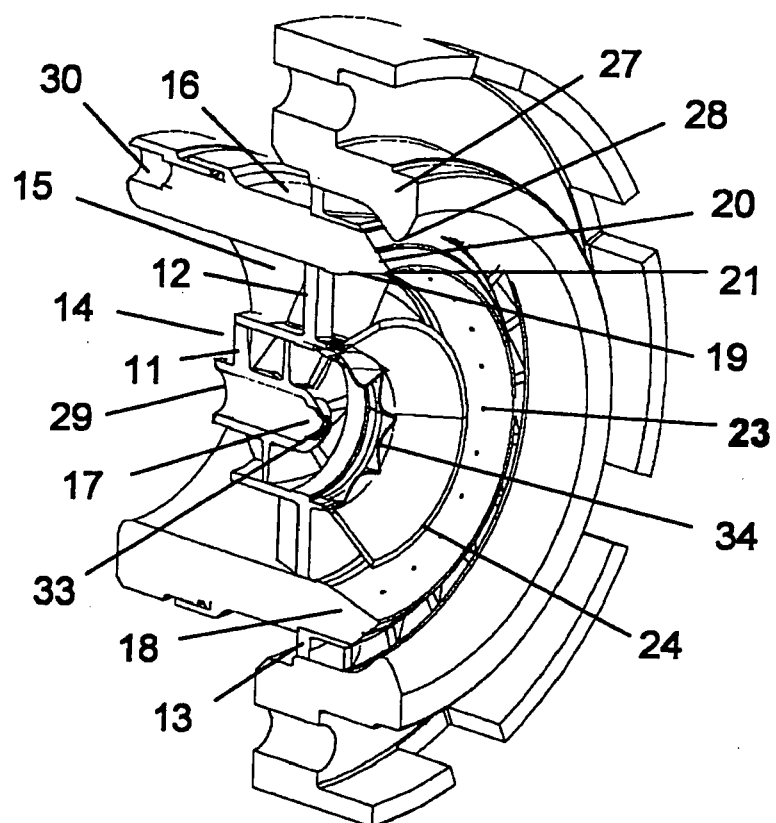


Fig.7

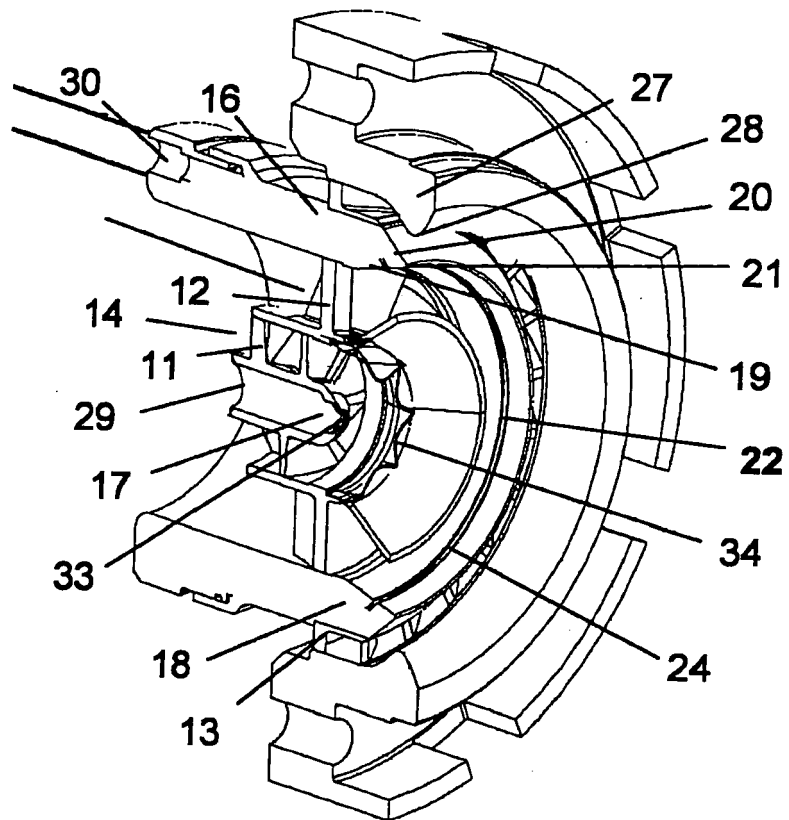


Fig.8

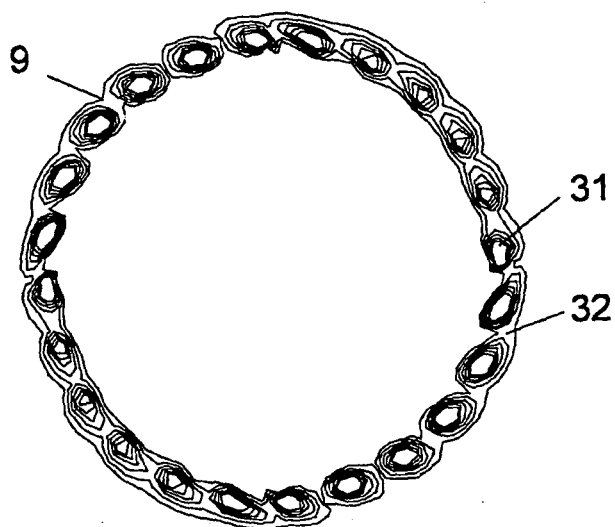


Fig.9

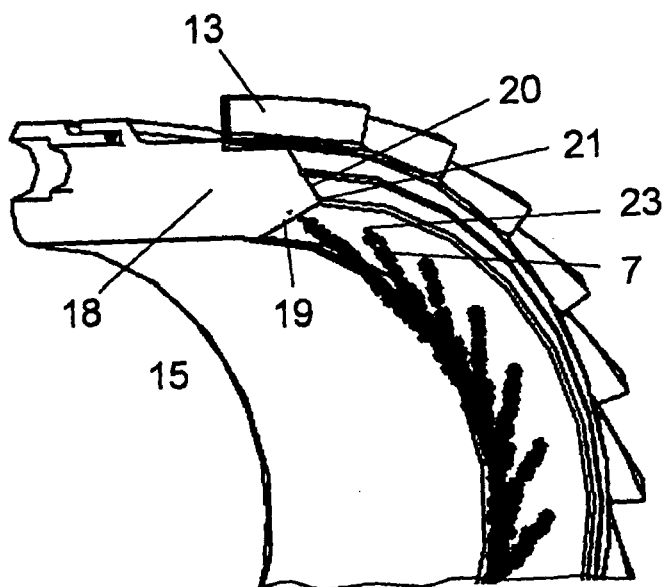


Fig.10

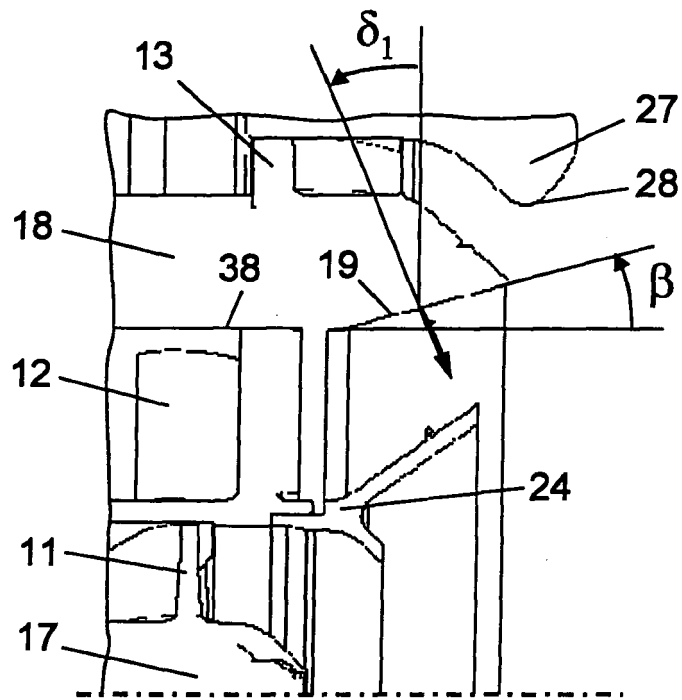


Fig.11

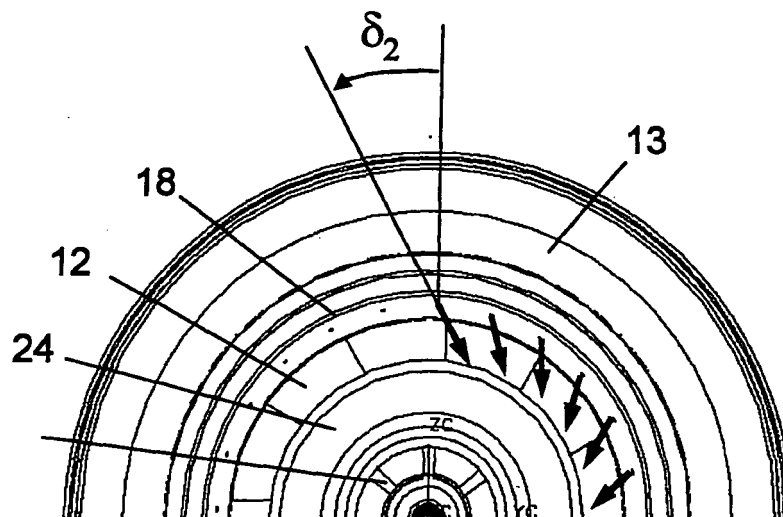


Fig.12

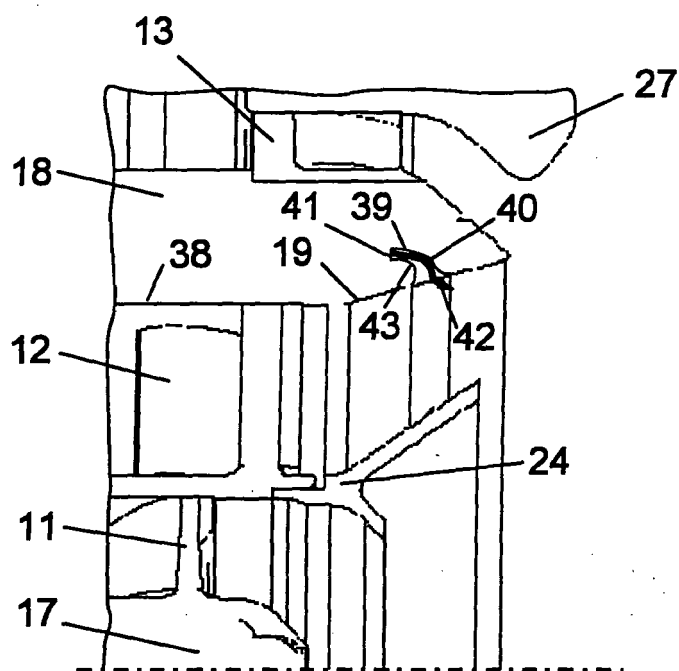


Fig.13

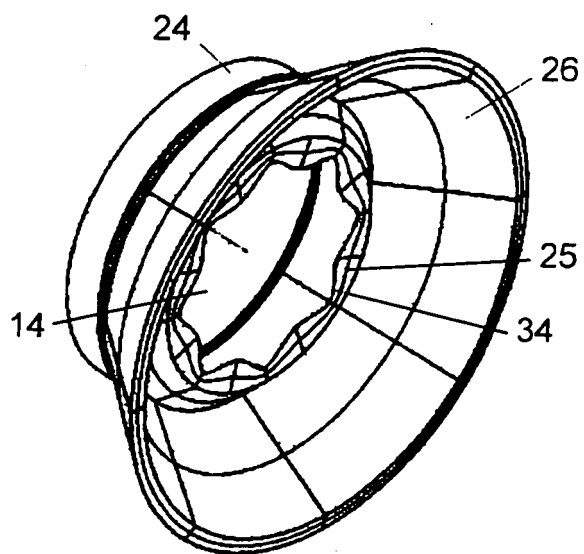


Fig.14

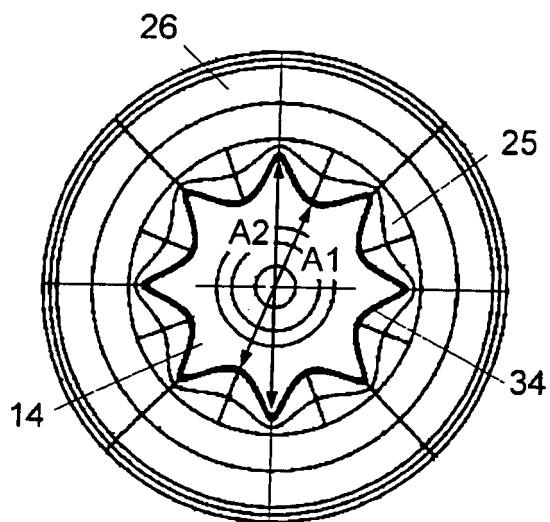


Fig.15

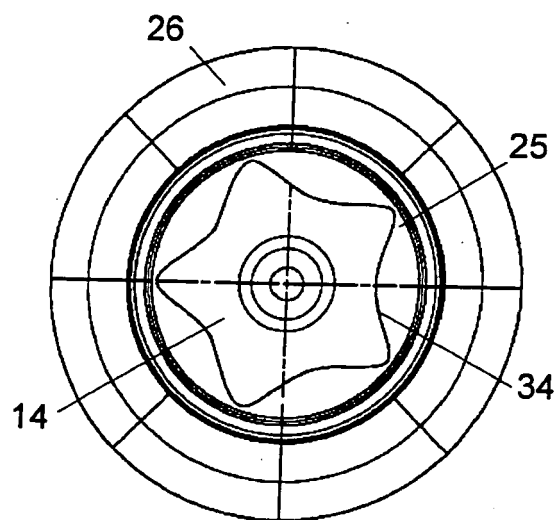


Fig.16

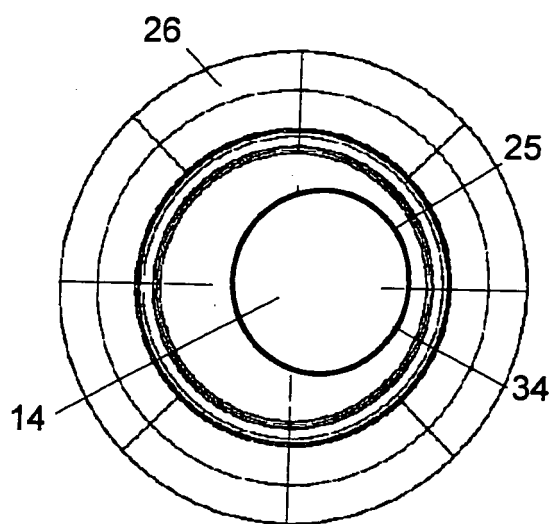


Fig.17

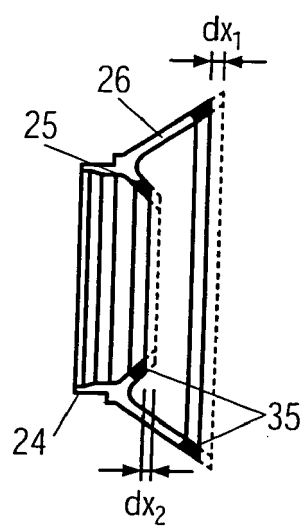


Fig.18

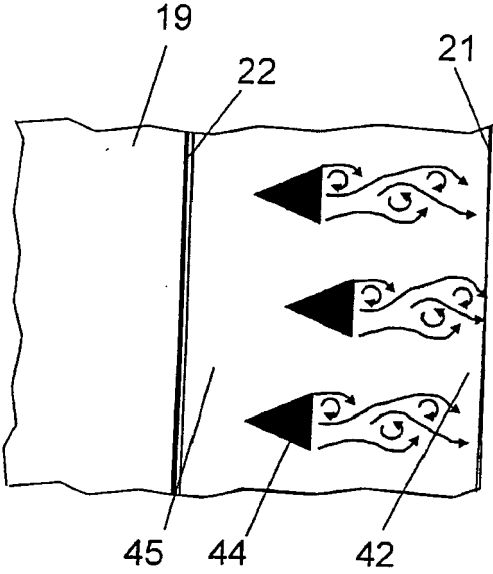


Fig.19

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20060248898 A1 [0003]
- US 20040040311 A1 [0003]
- US 4445339 A [0004]
- WO 10860659 A [0004]
- US 6272840 B1 [0006] [0012]
- US 20020011064 A1 [0007]
- US 6543235 B1 [0012]