

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 733 861 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

25.09.1996 Patentblatt 1996/39

(51) Int Cl.6: F23R 3/34, F15D 1/00

(21) Anmeldenummer: 96810132.9

(22) Anmeldetag: 06.03.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE FR GB

(71) Anmelder: ABB Management AG

CH-5401 Baden (CH)

(30) Priorität: 24.03.1995 DE 19510744

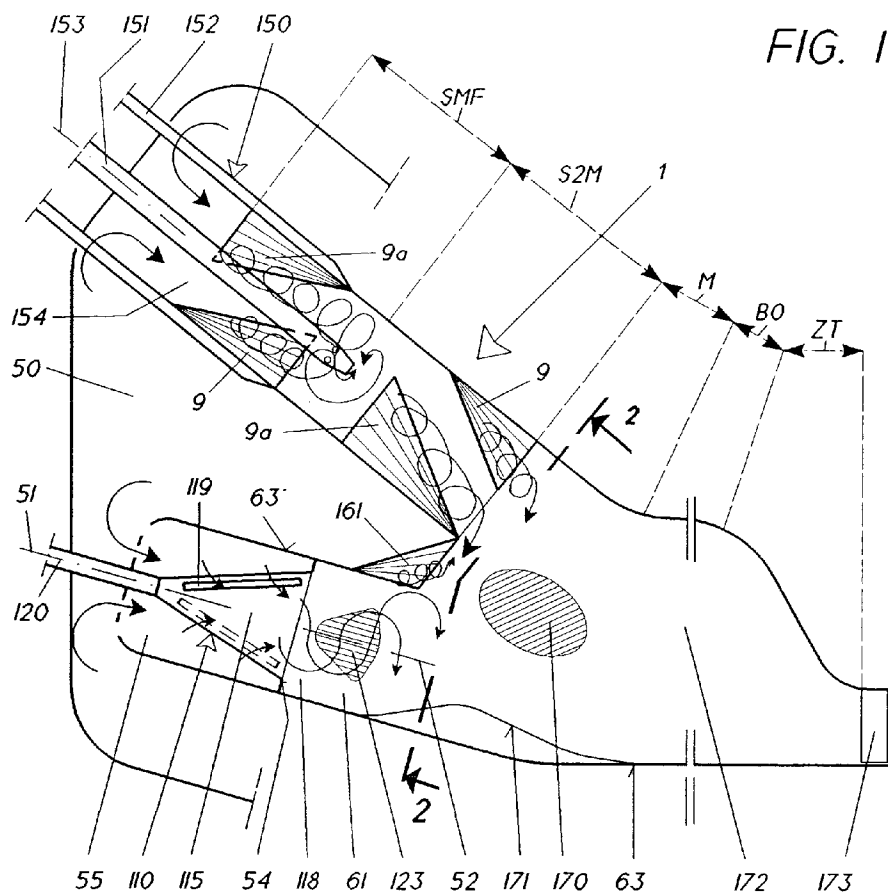
(72) Erfinder: Chou, Yau-Pin, Dr.

Nei-Hu District, Taipei 114 (TW)

(54) Brennkammer mit Zweistufenverbrennung

(57) Eine Brennkammer mit zweistufiger Verbrennung weist Primärbrenner (110) der Vormischbauart auf, bei denen innerhalb eines Vormischraumes (115) der über Düsen (117) eingespritzte Brennstoff vorgängig der Zündung mit der Brennluft intensiv vermischt wird. Die Primärbrenner sind flammenstabilisierend

ausgebildet, d.h. ohne mechanischen Flammenhalter. Sie sind mit tangentialer Einströmung der Brennluft in den Vormischraum (115) versehen. Stromabwärts einer Vorbrennkammer (61) sind Sekundärbrenner (150) angeordnet, die als nicht selbstgängige Vormischbrenner ausgebildet sind.



EP 0 733 861 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Brennkammer mit zweistufiger Verbrennung, mit mindestens einem Primärbrenner der Vormischbauart, bei dem innerhalb eines Vormischraumes der über Düsen eingespritzte Brennstoff vorgängig der Zündung mit der Brennluft intensiv vermischt wird, und mit mindestens einem Sekundärbrenner, der stromabwärts einer Vorbrennkammer angeordnet ist.

Stand der Technik

Die Verbrennung mit der grösstmöglichen Luftüberschusszahl, - einmal dadurch gegeben, dass die Flamme überhaupt noch brennt und im weiteren dadurch, dass nicht zuviel CO entsteht - vermindert nicht nur die Schadstoffmenge an NO_x, sondern bewirkt darüberhinaus auch die Tiefhaltung anderer Schadstoffe, nämlich von CO und von unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Dies erlaubt die Wahl einer grösseren Luftüberschusszahl, wobei dann zwar zunächst grössere Mengen CO entstehen, diese aber zu CO₂ weiter reagieren können, so dass schliesslich die CO-Emissionen gering bleiben. Andererseits aber bildet sich wegen des grossen Luftüberschusses nur wenig zusätzliches NO. Da in einer Brennkammer für beispielsweise Gasturbinen in der Regel eine grössere Anzahl Brenner angeordnet sind, werden bei der Lastregelung jeweils nur so viele Elemente mit Brennstoff betrieben, dass sich für die jeweilige Betriebsphase (Start, Teillast, Vollast) die optimale Luftüberschusszahl ergibt.

Um eine verlässliche Zündung des Gemischs in der nachgeschalteten Brennkammer und einen genügenden Ausbrand zu erzielen, ist eine innige Mischung des Brennstoffs mit der Luft erforderlich. Eine gute Durchmischung trägt auch dazu bei, sogenannte "hot spots" in der Brennkammer zu vermeiden, die unter anderem zur Bildung des unerwünschten NO_x führen. Aus diesem Grund werden zunehmend zweistufige Brennkammern mit Vormischbrennern der eingangs genannten Art in der Primärstufe eingesetzt.

Die einstufigen Brennkammern mit Vormischbrennern weisen nämlich die Unzulänglichkeit auf, dass zumindest in den Betriebszuständen, in denen nur ein Teil der Brenner mit Brennstoff betrieben wird, oder bei denen die einzelnen Brenner mit einer verringerten Brennstoffmenge beaufschlagt werden, nahe an die Grenze der Flammenstabilität gestossen wird. In der Tat wird die Löschgrenze aufgrund des sehr mageren Gemisches und der sich daraus ergebenden niedrigen Flammentemperatur bei typischen Gasturbinenbedingungen schon bei einer Luftüberschusszahl von etwa 2,0 erreicht.

Diese Tatsache führt zu einer relativ komplizierten Fahrweise der Brennkammer mit entsprechend aufwen-

diger Regelung. Eine andere Möglichkeit, den Betriebsbereich von Vormischbrennern zu erweitern, wird in der Stützung des Brenners mittels einer kleinen Diffusionsflamme gesehen. Diese Pilotflamme erhält ihren Brennstoff rein, oder zumindest schlecht vorgemischt, was einerseits zwar zu einer stabilen Flamme führt, andererseits jedoch die für Diffusionsverbrennung typischen hohen NO_x-Emissionen zur Folge hat.

Sowohl im Ölbetrieb bei sehr hohem Druck als auch im Gasbetrieb mit stark wasserstoffhaltigen Gasen kann es bei Vormischbrennern vorkommen, dass die Zündverzugszeiten derart kurz werden, dass flammhaltende Brenner nicht mehr als sogenannte Low-Nox-Brenner einsetzbar sind.

Die Einmischung von Brennstoff in eine in einem Vormischkanal strömenden Brennluftströmung geschieht in der Regel durch radiale Eindüsung des Brennstoffs in den Kanal mittels Querstrahlmischern. Der Impuls des Brennstoffs ist indes so gering, dass eine nahezu vollständige Durchmischung erst nach einer Strecke von ca. 100 Kanalhöhen erfolgt ist. Auch Venturimischer kommen zur Anwendung. Bekannt ist auch die Eindüsung des Brennstoffs über Gitteranordnungen. Schliesslich wird auch das Eindüsen vor besonderen Drallkörpern angewendet.

Die auf der Basis von Querstrahlen oder Schichtströmungen arbeitende Vorrichtungen haben entweder sehr lange Mischstrecken zur Folge oder verlangen hohe Einspritzimpulse. Bei Vormischung unter hohem Druck und unterstöchiometrischen Mischverhältnissen besteht die Gefahr von Rückschlagen der Flamme oder gar von Selbstzündung des Gemischs. Strömungsablösungen und Totwasserzonen im Vormischrohr, dicke Grenzschichten an den Wandungen oder eventuell extreme Geschwindigkeitsprofile über dem durchströmten Querschnitt können die Ursache für Selbstzündung im Rohr sein oder Pfade bilden, über die die Flamme aus der stromab liegenden Verbrennungszone in das Vormischrohr zurückschlagen kann. Der Geometrie der Vormischstrecke muss demnach höchste Beachtung geschenkt werden.

Die oben erwähnte Eindüsung des Brennstoffs über klassische Mittel wie beispielsweise Querstrahlmischer ist schwierig, da der Brennstoff selbst einen ungenügenden Impuls aufweist, um die erforderliche gross-skalige Verteilung und die feinskalige Mischung zu erreichen.

Darstellung der Erfindung

Die Erfindung versucht all diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt insbesondere die Aufgabe zugrunde, eine emissionsarme Sekundärverbrennung zu schaffen.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass der Primärbrenner ein flammenstabilisierender Vormischbrenner ohne mechanischen Flammenhalter ist, mit zumindest annähernd tangentialer Einströmung der Brennluft in den Vormischraum, und dass der Sekun-

därbrenner ein nicht selbstgängiger Vormischbrenner ist.

Solche flammenhaltende Vormischbrenner können beispielsweise die Brenner der sogenannten Doppelkegelbauart sein, wie sie aus der EP-B1-0 321 809 bekannt sind und später zu Fig. 1 bis 3B beschrieben werden. Der Brennstoff, dort Gas, wird in den tangential verlaufenden Eintrittsspalten in die vom Verdichter heranströmende Verbrennungsluft über eine Reihe von Injektordüsen eingespritzt. Diese sind in der Regel über die ganzen Spalte gleichmässig verteilt.

Der Vorteil der Erfindung ist bei einer solchen Mager/Mager-Fahrweise der Brennkammer insbesondere in einer NO_x -neutralen Sekundärverbrennung zu sehen.

Dadurch, dass die Brenner bei sehr magerem Gemisch betriebsfähig bleiben, kann auch die Regelung insofern vereinfacht werden, als beim Belasten und Entlasten der Brennkammer Luftzahlbereiche durchquert werden können, die mit der bisherigen Vormischverbrennung in der Regel nicht durchfahren werden konnten, ohne dass mit separaten Mitteln ein Löschen der Flamme vermieden werden muss.

Um die notwendige innige Vermischung zu erreichen, wird in den Kanal des Sekundärbrenners ein gasförmiger und/oder flüssiger Brennstoff in die Verbrennungsluft eingedüst, wobei die Verbrennungsluft über Wirbelgeneratoren geführt wird, von denen über dem Umfang des durchströmten Kanals mehrere nebeneinander angeordnet sind.

Diese Wirbel-Generatoren zeichnen sich durch eine Dachfläche und zwei Seitenflächen aus, wobei die Seitenflächen mit einer gleichen Kanalwand bündig sind und miteinander einen Pfeilwinkel α einschliessen und wobei die längsgerichteten Kanten der Dachfläche bündig sind mit den in den Strömungskanal hineinragenden längsgerichteten Kanten der Seitenflächen und unter einem Anstellwinkel Θ zur Kanalwand verlaufen.

Mit dem neuen statischen Mischer, den die 3-dimensionalen Wirbel-Generatoren darstellen, ist es möglich, in den Sekundärbrennern ausserordentlich kurze Mischstrecken bei gleichzeitig geringem Druckverlust zu erzielen. Durch die Erzeugung von Längswirbel ohne Rezirkulationsgebiet ist bereits nach einer vollen Wirbelumdrehung eine grobe Durchmischung der beiden Ströme vollzogen, während eine Feinmischung infolge turbulenter Strömung und molekularer Diffusionsprozesse bereits nach einer Strecke vorliegt, die einigen wenigen Kanalhöhen entspricht.

Diese Art der Mischung ist besonders geeignet, um den Brennstoff mit relativ geringem Vordruck unter grosser Verdünnung in die Verbrennungsluft einzumischen. Ein geringer Vordruck des Brennstoffes ist insbesondere bei der Verwendung von mittel- und niederkalorischen Brenngasen von Vorteil. Die zur Mischung erforderliche Energie wird dabei zu einem wesentlichen Teil aus der Strömungsenergie des Fluides mit dem höheren Volumenstrom, eben der Verbrennungsluft, entnom-

men.

Der Vorteil solcher Wirbel-Generatoren ist in ihrer besonderen Einfachheit zu sehen. Fertigungstechnisch ist das aus drei umströmten Wänden bestehende Element völlig problemlos. Die Dachfläche kann mit den beiden Seitenflächen auf verschiedenste Arten zusammengefügt werden. Auch die Fixierung des Elementes an ebenen oder gekrümmten Kanalwänden kann im Falle von schweiszbaren Materialien durch einfache Schweisssnähte erfolgen. Vom strömungstechnischen Standpunkt her weist das Element beim Umströmen einen sehr geringen Druckverlust auf und es erzeugt Wirbel ohne Totwassergebiet. Schliesslich kann das Element durch seinen in der Regel hohlen Innenraum auf die verschiedensten Arten und mit diversen Mitteln gekühlt werden.

Es ist angebracht, das Verhältnis Höhe h der Verbindungskante der beiden Seitenflächen zur Kanalhöhe H so zu wählen, dass der erzeugte Wirbel unmittelbar stromabwärts des Wirbel-Generators die volle Kanalhöhe oder die volle Höhe des dem Wirbel-Generator zugeordneten Kanalteils ausfüllt.

Wenn die Symmetrieachse parallel zur Kanalachse verläuft, und die Verbindungskante der beiden Seitenflächen die stromabwärtige Kante des Wirbel-Generators bildet, während demzufolge die quer zum durchströmten Kanal verlaufende Kante der Dachfläche die von der Kanalströmung zuerst beaufschlagte Kante ist, so werden an einem Wirbel-Generator zwei gleiche, jedoch gegenläufige Wirbel erzeugt. Es liegt ein drallneutrales Strömungsbild vor, bei welchem der Drehsinn der beiden Wirbel im Bereich der Verbindungskante aufsteigend ist.

Weitere Vorteile der Erfindung, insbesondere im Zusammenhang mit der Anordnung der Wirbel-Generatoren und der Einführung des Brennstoffs ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Ringbrennkammer für eine Gasturbine schematisch dargestellt.

Es zeigen:

- | | |
|---------|---|
| Fig. 1 | einen Teillängsschnitt einer Brennkammer; |
| Fig. 2A | einen Teilquerschnitt durch die Brennkammer nach Linie 2-2 in Fig. 1; |
| Fig. 2B | einen Teilquerschnitt durch eine Anordnungsvariante der Wirbel-Generatoren in den Sekundärbrennern; |
| Fig. 3A | einen Querschnitt durch einen Vormischbrenner der Doppelkegel-Bauart im Bereich seines Austritts; |
| Fig. 3B | einen Querschnitt durch denselben Vormischbrenner im Bereich der Ke- |

- gelspitze;
 Fig. 4 eine perspektivische Darstellung eines Wirbel-Generators;
 Fig. 5 eine Ausführungsvariante des Wirbel-Generators;
 Fig. 6 eine Anordnungsvariante des Wirbel-Generators nach Fig. 4;
 Fig. 7 einen Wirbel-Generator in einem Kanal;
 Fig. 8 bis 14 Varianten der Brennstoffzuführung;
 Fig. 15 eine perspektivische Teilansicht vom Austritt der Sekundärbrenner;
 Fig. 16 eine perspektivische Teilansicht vom Eintritt der Sekundärbrenner mit Brennstoffzufuhr;
 Fig. 16A die Wirbelbildung am Eintritt der Sekundärbrenner;
 Fig. 17 eine Anordnungsvariante von nebeneinanderangeordneten Wirbel-Generatoren;
 Fig. 18 eine weitere Ausführungsvariante des Wirbel-Generators;
 Fig. 19 eine Anordnungsvariante von nebeneinanderangeordneten Wirbel-Generatoren nach Fig. 17;
 Fig. 20 ein Schaubild Temperatur längs der Brennkammer-Erstreckung;
 Fig. 21 eine Ausführungsvariante des Primärbrenners.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt sind beispielsweise die vollständige Brennkammer und deren Zuordnung zu einer Anlage. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet. In den verschiedenen Figuren sind die gleichen Elemente jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Erfindungsunwesentliche Elemente wie Gehäuse, Befestigungen, Leitungsdurchführungen, die Brennstoffbereitstellung, die Regeleinrichtungen und dergleichen sind fortgelassen.

Weg zur Ausführung der Erfindung

Zur Brennkammerstruktur:

In Fig. 1 ist mit 50 ein ummanteltes Plenum bezeichnet, welches in der Regel die von einem nicht dargestellten Verdichter geförderte Verbrennungsluft aufnimmt und einer ringförmigen Brennkammer 1 zuführt. Diese Brennkammer ist zweistufig ausgebildet und besteht im wesentlichen aus einer Vorbrennkammer 61 und einer stromabwärts gelegenen Nachbrennkammer 172, welche beide mit einer Brennkammerwand 63, 63' ummantelt sind.

Auf die Vorbrennkammer 61, die sich am Kopfende der Brennkammer 1 befindet und deren Brennraum durch eine Frontplatte 54 begrenzt ist, ist ein ringförmiger

Dom 55 aufgesetzt. In diesem Dom ist ein Brenner 110 so angeordnet, dass der Brenneraustritt zumindest annähernd bündig ist mit der Frontplatte 54. Die Längsachse 51 des Primärbrenners 110 verläuft in der Längsachse 52 der Vorbrennkammer 61. Über den Umfang verteilt ist eine Mehrzahl, hier 30, von solchen Brennern 110 nebeneinander auf der kreisringförmigen Frontplatte 54 angeordnet (Fig. 2A,B). Über die an ihrem äusseren Ende gelochte Domwandung strömt die Verbrennungsluft aus dem Plenum 50 in das Dominnere und beaufschlagt die Brenner. Der Brennstoff wird dem Brenner über eine Brennstofflanze 120 zugeführt, welche die Plenum- und die Domwand durchdringt.

In der Ebene, in welcher die Vorbrennkammer 61 in die Nachbrennkammer 172 übergeht, mündet eine Anzahl von Sekundärbrennern 150 in die Nachbrennkammer. Hierbei handelt es sich ebenfalls um Vormischbrenner. Deren Längsachse 153 verläuft unter einem Winkel von beispielsweise ca. 30° zur Längsachse der Vorbrennkammer 61. Im vorliegenden Beispielsfall sind die durchströmten Querschnitte der Primärbrenner 110 und Sekundärbrenner 150 für jeweils ca. die Hälfte des gesamten zu verarbeitenden Volumenstroms bemessen.

In den Kanal 154 der Sekundärbrenner 150 wird ein gasförmiger und/oder flüssiger Brennstoff in die Verbrennungsluft eingedüst. Letzere gelangt ebenfalls über nicht gezeigte Mittel aus dem Plenum 50 in den Kanal 154. Sie wird über Wirbelgeneratoren 9, 9a geführt, von denen in zwei Kanalebene über dem Umfang mehrere nebeneinander angeordnet sind.

Bei der gezeigten ringförmigen Anordnung der Primärbrenner 110 und Sekundärbrenner 150 sind die Sekundärbrenner 150 radial aussen angeordnet. Durch diese radiale Staffelung wird eine kompakte Brennkammer geschaffen.

Am Austritt der Vorbrennkammer 61 im Bereich der Einmündung der Sekundärbrenner 150 sind an der Brennkammerwand 63' der Vorbrennkammer wirbelerzeugende Wannen 161 vorgesehen. Der Übergang der Vorbrennkammer 61 in die Nachbrennkammer 172 ist an der der Einmündung der Sekundärbrenner 150 gegenüber liegenden Brennkammerwand 63 mit einer Einschnürung 171 versehen.

Die Einmündung der Sekundärbrenner in die Nachbrennkammer 172 ist so gewählt, dass in der Vorbrennkammer 61 noch kein vollständiger Ausbrand des Gemisches stattgefunden hat.

Wie aus den später zu beschreibenden Fig. 2A und 2B ersichtlich, ist jeweils eine gleiche Anzahl, hier 30 Stück, von Primärbrennern 110 und Sekundärbrennern 150 über dem Umfang angeordnet. In Fig. 2A sind deren Achsen um eine halbe Teilung in Umfangsrichtung gegeneinander versetzt. In Fig. 2B liegen die Achsen der Primärbrenner 110 und Sekundärbrenner 150 auf der gleichen Radialen. Es versteht sich, dass die genannte Anzahl und gezeigten Anordnungen nicht zwingend sind.

In der Nachbrennkammer 172 erfolgte der vollständige Ausbrand des Gemisches. Die heissen Rauchgase gelangen dann über eine Übergangszone ZT, in welcher sie beschleunigt und in der Regel mit Kühlluft vermischt werden, zum Turbineneintritt 173.

Zu den Primärbrennern:

Bei den in Fig. 1, 3A und 3B schematisch dargestellten Vormischbrennern 110 handelt es sich jeweils um einen sogenannten Doppelkegelbrenner, wie er weiter oben bereits erwähnt wurde und beispielsweise aus der EP-B1-0 321 809 bekannt ist. Im wesentlichen besteht er aus zwei hohlen, kegelförmigen Teilkörpern 111, 112, die in Strömungsrichtung ineinandergeschachtelt sind und dabei den Vormischraum 115 umschliessen. Dabei sind die jeweiligen Mittelachsen 113, 114 der beiden Teilkörper gegeneinander versetzt. Die benachbarten Wandungen der beiden Teilkörper bilden in deren Längserstreckung tangentiale Schlitz 119 für die Verbrennungsluft, die auf diese Weise in das Brennerinnere, in den Vormischraum 115 also, gelangt. Dort ist eine erste zentrale Brennstoffdüse 116 für flüssigen Brennstoff angeordnet. Der Brennstoff wird in einem spitzen Winkel in die Hohlkegel eingedüst. Das entstehende kegelförmige Brennstoffprofil wird von der tangential einströmenden Verbrennungsluft umschlossen. In axialer Richtung wird die Konzentration des Brennstoffes fortlaufend infolge der Vermischung mit der Verbrennungsluft abgebaut. Im Beispielsfall wird der Brenner ebenfalls mit gasförmigem Brennstoff betrieben. Hierzu sind im Bereich der tangentialen Schlitz 119 in den Wandungen der beiden Teilkörper in Längsrichtung verteilte Gaseinströmoöffnungen 117 vorgesehen. Im Gasbetrieb beginnt die Gemischbildung mit der Verbrennungsluft somit bereits in der Zone der Eintrittsschlitz 119. Es versteht sich, dass auf diese Weise auch ein Mischbetrieb mit beiden Brennstoffarten möglich ist.

Am Brenneraustritt 118 des Brenners 110 stellt sich eine möglichst homogene Brennstoffkonzentration über dem beaufschlagten kreisringförmigen Querschnitt ein. Es entsteht am Brenneraustritt eine definierte kalottenförmige Rezirkulationszone 123, an deren Spitze die Zündung erfolgt. Die Flamme selbst wird durch die Rezirkulationszone vor dem Brenner stabilisiert, ohne einen mechanischen Flammenhalter zu benötigen.

Zu den Sekundärbrennern:

Gemäss der Erfindung soll nunmehr der Sekundärbrenner 150 ein nicht selbstgängiger Vormischbrenner sein. Hierunter wird verstanden, dass für die Gemischverbrennung des Sekundärbrenners eine permanente Zündung vorhanden sein muss. Diese permanente Zündung geschieht im vorliegenden Fall über die Flamme am Austritt der Vorbrennkammer 61. Bei Fahrweise mit niedrigen Teillasten werden nur die Primärbrenner mit Brennstoff betrieben. Die Hauptströmung der Sekundär-

brenner wird dann als Verdünnungsluft benutzt.

Zu den Wirbel-Generatoren:

5 Bevor auf den Einbau der Mischvorrichtung in den Sekundärbrennern 150 eingegangen wird, wird zunächst der für den Mischvorgang wesentliche Wirbel-Generator beschrieben.

10 In den Figuren 4, 5 und 6 ist der eigentliche Kanal, der von einer mit grossem Pfeil symbolisierten Hauptströmung durchströmt wird, nicht dargestellt. Gemäss diesen Figuren besteht ein Wirbel-Generator im wesentlichen aus drei frei umströmten dreieckigen Flächen. Es sind dies eine Dachfläche 10 und zwei Seitenflächen 11 und 13. In ihrer Längserstreckung verlaufen diese Flächen unter bestimmten Winkeln in Strömungsrichtung.

Die Seitenwände des Wirbel-Generators, welche aus rechtwinkligen Dreiecken bestehen, sind mit ihren Längsseiten auf einer Kanalwand 21 fixiert, vorzugsweise gasdicht. Sie sind so orientiert, dass sie an ihren Schmalseiten einen Stoss bilden unter Einschluss eines Pfeilwinkels α . Der Stoss ist als scharfe Verbindungskante 16 ausgeführt und steht senkrecht zu jener Kanalwand 21, mit welcher die Seitenflächen bündig sind. Die beiden den Pfeilwinkel α einschliessenden Seitenflächen 11, 13 sind in Fig. 4 symmetrisch in Form, Grösse und Orientierung und sind beidseitig einer Symmetrieachse 17 angeordnet. Diese Symmetrieachse 17 ist gleichgerichtet wie die Kanalachse.

Die Dachfläche 10 liegt mit einer quer zum durchströmten Kanal verlaufenden und sehr schmal ausgebildeten Kante 15 an der gleichen Kanalwand 21 an wie die Seitenwände 11, 13. Ihre längsgerichteten Kanten 12, 14 sind bündig mit den in den Strömungskanal hineinragenden längsgerichteten Kanten der Seitenflächen. Die Dachfläche verläuft unter einem Anstellwinkel Θ zur Kanalwand 21. Ihre Längskanten 12, 14 bilden zusammen mit der Verbindungskante 16 eine Spitze 18.

Selbstverständlich kann der Wirbel-Generator auch mit einer Bodenfläche versehen sein, mit welcher er auf geeignete Art an der Kanalwand 21 befestigt ist. Eine derartige Bodenfläche steht indes in keinem Zusammenhang mit der Wirkungsweise des Elementes.

45 In Fig. 4 bildet die Verbindungskante 16 der beiden Seitenflächen 11, 13 die stromabwärtige Kante des Wirbel-Generators 9. Die quer zum durchströmten Kanal verlaufende Kante 15 der Dachfläche 10 ist somit die von der Kanalströmung zuerst beaufschlagte Kante.

50 Die Wirkungsweise des Wirbel-Generators ist folgende: Beim Umströmen der Kanten 12 und 14 wird die Hauptströmung in ein Paar gegenläufiger Wirbel umgewandelt. Deren Wirbelachsen liegen in der Achse der Hauptströmung. Die Drallzahl und der Ort des Wirbelauflagens (vortex break down), sofern letzteres überhaupt gewünscht wird, werden bestimmt durch entsprechende Wahl des Anstellwinkels Θ und des Pfeilwinkels α . Mit steigenden Winkeln wird die Wirbelstärke bzw.

die Drallzahl erhöht und der Ort des Wirbelaufplatzens wandert stromaufwärts bis hin in den Bereich des Wirbel-Generators selbst. Je nach Anwendung sind diese beiden Winkel Θ und α durch konstruktive Gegebenheiten und durch den Prozess selbst vorgegeben. Anpassung werden müssen dann nur noch die Länge L des Elementes sowie die Höhe h der Verbindungskante 16 (Fig. 7).

In Fig. 5 ist ein sogenannter "halber" Wirbel-Generator 9a auf der Basis eines Wirbel-Generators nach Fig. 4 gezeigt. Hier ist nur eine der beiden Seitenflächen, nämlich die Fläche 11, mit dem Pfeilwinkel $\alpha/2$ versehen ist. Die andere Seitenfläche 13 ist gerade und in Strömungsrichtung ausgerichtet. Im Gegensatz zum symmetrischen Wirbel-Generator wird hier nur ein Wirbel an der gepfeilten Seite erzeugt. Es liegt demnach stromabwärts dieses Wirbel-Generators 9a kein wirbelneutrales Feld vor, sondern der Strömung wird ein Drall aufgezwungen.

Im Gegensatz zu Fig. 4 ist in Fig. 6 die scharfe Verbindungskante 16 des Wirbel-Generators 9b jene Stelle, die von der Kanalströmung zuerst beaufschlagt wird. Das Element ist um 180° gedreht. Wie aus der Darstellung erkennbar, haben die beiden gegenläufigen Wirbel ihren Drehsinn geändert.

Gemäss Fig. 7 sind die Wirbel-Generatoren 9 in einem Kanal 154 eingebaut. In der Regel wird man die Höhe h der Verbindungskante 16 mit der Kanalhöhe H - oder der Höhe des Kanalteils, welchem dem Wirbel-Generator zugeordnet ist - so abstimmen, dass der erzeugte Wirbel unmittelbar stromabwärts des Wirbel-Generators bereits eine solche Grösse erreicht, dass die volle Kanalhöhe H ausgefüllt wird. Dies führt zu einer gleichmässigen Geschwindigkeitsverteilung in dem beaufschlagten Querschnitt. Ein weiteres Kriterium, welches Einfluss auf das zu wählende Verhältnis h/H nehmen kann, ist der Druckabfall, der beim Umströmen des Wirbel-Generators auftritt. Es versteht sich, dass mit grösserem Verhältnis h/H auch der Druckverlustbeiwert ansteigt.

Zur Wirbel-Generator-Anordnung

Im Beispiel gemäss Fig. 2A und deren Detail D2A sind bei jedem der 30 Sekundärbrenner im Austrittsbereich vier halbe Wirbel-Generatoren 9a vorgesehen. Dabei grenzen deren nicht gepfeilte Wände 13 (Fig. 5) an die radialen Brenner-Begrenzungswände 155. Das resultierende Strömungsfeld innerhalb des Kreisringsegments ist mit Pfeilen bezeichnet. Erkennbar ist, dass die Gesamtströmung radial einwärts gerichtet ist und zwar aussen an den Begrenzungswänden 155 entlang.

Im Beispiel gemäss Fig. 2B und deren Detail D2B sind bei jedem der 30 Sekundärbrenner im Austrittsbereich zwei Wirbel-Generatoren 9a bzw. 9b vorgesehen. Sie sind ohne Abstand über dem Umfang des entsprechenden Kreisringsegments verteilt. Selbstverständlich könnten die Wirbel-Generatoren an ihren je-

weiligen Wandsegmenten in Umfangsrichtung auch so aneinandergereiht sein, dass Zwischenräume zwischen Begrenzungswand und den Seitenwänden freigelassen werden. Letztlich ist hier der zu erzeugende Wirbel entscheidend.

Aus dem Detail D2B und Fig. 1 ist erkennbar, dass die radial aussenliegenden Wirbel-Generatoren 9a nach Fig. 4 angeordnet sind, dass demnach ihre Eintrittskanten 15 von der Strömung zuerst beaufschlagt werden. Die radial innenliegenden Wirbel-Generatoren 9b sind hingegen nach Fig. 6 ausgerichtet, d. h. die Verbindungskanten 16 werden hier von der Strömung zuerst beaufschlagt. Das resultierende Strömungsfeld innerhalb des Kreisringsegments ist wiederum mit Pfeilen bezeichnet. Erkennbar ist, dass die Gesamtströmung ebenfalls radial einwärts gerichtet ist, jedoch nicht aussen an den Begrenzungswänden 155 entlang, sondern in der Segmentmitte.

Mit diesen verschiedenen Anordnungen der Wirbel-Generatoren und der Möglichkeit der Versetzung der Primärbrenner in Umfangsrichtung hat man ein Mittel in der Hand, optimale Mischbedingungen beim Aufeinandertreffen der beiden Ströme zu schaffen.

Die Wirbel-Generatoren sind demnach hauptsächlich zum Mischen zweier Strömungen verwendet. Die Hauptströmung in Form von Brennluft attackiert in Pfeilrichtung die quergerichteten Eintrittskanten 15 respektive die Verbindungskanten 16. Die Sekundärströmung in Form eines gasförmigen und/oder flüssigen Brennstoffs weist in der Regel einen wesentlich kleineren Massenstrom auf als die Hauptströmung, sofern es sich nicht um niederkalorische Brennstoffe wie beispielsweise Gichtgas handelt. Sie wird im vorliegenden Fall stromaufwärts der austrittsseitigen Wirbel-Generatoren 9a und 9b in die Hauptströmung eingeleitet.

Zu diesem Zeitpunkt ist die Hauptströmung bereits wirbelbehaftet, da gemäss Fig. 1 stromaufwärts der zentralen Brennstofflanze 151 bereits eine Wirbel-Generatoren-Anordnung vorgesehen ist. In einer gleichen Ebene sind hier radial aussen und radial innen "halbe" Wirbel-Generatoren 9a so gestaffelt, dass die Wirbel entgegen jenen der austrittsseitigen Anordnung nunmehr in der Segmentmitte mit gleichem Drehsinn gerichtet sind.

Es versteht sich, dass die Anzahl axial gestaffelter Wirbel-Generatoren und damit die Länge der Sekundärbrenner abhängig ist vom Grad der gewünschten Mischqualität. Zumindest die austrittsseitigen Wirbel-Generatoren sollten neben der Mischaufgabe noch folgende Funktionen erfüllen:

- die Strömung radial einwärts lenken;
- die Strömung wie ein Venturi beschleunigen, um ein Rückschlagen der Flamme zu vermeiden. Dieses Ergebnis wird durch eine gewisse Sperrung des durchströmten Querschnittes durch die Wirbel-Generatoren erreicht;
- Stromabwärts der Sekundärbrenner ist ein Wirbel-

aufplatzen zur aerodynamischen Stabilisierung der Flamme vorteilhaft.

Zur Brennstoffzufuhr der Sekundärbrenner:

Gemäss Fig. 1 wird bei den Sekundärbrennern 150 der Brennstoff über je eine zentrale Brennstofflanze 151 eingedüst. Dargestellt ist eine Querstrahleindüsung des Brennstoffes, wobei der Brennstoffimpuls etwa das Doppelte desjenigen der Hauptströmung betragen muss. Genau so gut könnte eine Längseindüsung in Strömungsrichtung vorgesehen werden. In diesem Fall entspricht der Eindüsungsimpuls etwa jenem des Hauptströmungsimpulses.

Der eingedüste Brennstoff wird von den Wirbeln mitgeschleppt und mit der Hauptströmung vermischt. Er folgt dem schraubenförmigen Verlauf der Wirbel und wird stromabwärts der Wirbel in der Kammer gleichmässig feinverteilt. Dadurch reduziert sich die - bei der eingangs erwähnten radialen Eindüsung von Brennstoff in eine unverwirbelte Strömung - Gefahr von Aufprallstrahlen an der gegenüberliegenden Wand und die Bildung von sogenannten "hot spots".

Da der hauptsächliche Mischprozess in den Wirbeln erfolgt und weitgehend unempfindlich gegen den Eindüsungsimpuls der Sekundärströmung ist, kann die Brennstoffeinspritzung flexibel gehalten werden und an andere Grenzbedingungen angepasst werden. So kann im ganzen Lastbereich der gleiche Eindüsungsimpuls beibehalten werden. Da das Mischen durch die Geometrie der Wirbel-Generatoren bestimmt wird, und nicht durch die Maschinenlast, im Beispielsfall die Gasturbinenleistung, arbeitet der so konfigurierte Brenner auch bei Teillastbedingungen optimal. Der Verbrennungsprozess wird durch Anpassen der Zündverzugszeit des Brennstoffs und der Mischzeit der Wirbel optimiert, was eine Minimierung der Emissionen gewährleistet.

Sofern ein gasförmiger Brennstoff verbrannt werden soll, kann die Brennstoffzufuhr in den Kanal 154 auch auf andern Weg erfolgen. Es bietet sich gemäss Fig. 1 die Möglichkeit, über Gaszufuhrkanäle 152 den Brennstoff direkt im Bereich der Wirbel-Generatoren einzuleiten.

Die Figuren 8 bis 14 zeigen bezüglich der Sekundärbrenner solche mögliche Formen der Einführung des Brennstoffs in die Verbrennungsluft. Diese Varianten können auf vielfältige Weise miteinander und mit einer zentralen Brennstoffeindüsung kombiniert werden.

Gemäss Fig. 8 wird der Brennstoff, zusätzlich zu Wandbohrungen 22a stromabwärts der Wirbel-Generatoren, über Wandbohrungen 22c eingedüst, die sich unmittelbar neben den Seitenwänden 11, 13 und in deren Längserstreckung in der gleichen Wand 21 befinden, an der die Wirbel-Generatoren angeordnet sind. Das Einleiten des Brennstoffs durch die Wandbohrungen 22c verleiht den erzeugten Wirbeln einen zusätzlichen Impuls, was seine Lebensdauer verlängert.

Gemäss Fig. 9 und 10 wird der Brennstoff einerseits

über einen Schlitz 22e oder über Wandbohrungen 22f eingedüst, die sich unmittelbar vor der quer zum durchströmten Kanal verlaufenden Kante 15 der Dachfläche 10 und in deren Längserstreckung in der gleichen Wand 21 befinden, an der die Wirbel-Generatoren angeordnet sind. Die Geometrie der Wandbohrungen 22f oder des Schlitzes 22e ist so gewählt, dass der Brennstoff unter einem bestimmten Einspritzwinkel in die Hauptströmung eingedüst wird und den nachfolgenden Wirbel-Generator als Schutzfilm gegen die heisse Hauptströmung umströmt.

In den nachstehend beschriebenen Beispielen wird die Sekundärströmung zunächst über nicht gezeigte Mittel durch die Kanalwand 21 ins hohle Innere des Wirbel-Generators eingeleitet. Hierdurch wird eine interne Kühlmöglichkeit für die Wirbel-Generatoren geschaffen.

Gemäss Fig. 11 wird der Brennstoff über Wandbohrungen 22g eingedüst, die sich innerhalb der Dachfläche 10 unmittelbar hinter der quer zum durchströmten Kanal verlaufenden Kante 15 und in deren Längserstreckung befinden. Die Kühlung des Wirbel-Generators erfolgt hier mehr extern als intern. Die austretende Sekundärströmung bildet beim Umströmen der Dachfläche 10 eine diese gegen die heisse Hauptströmung abschirmende Schutzschicht.

Gemäss Fig. 12 wird der Brennstoff über Wandbohrungen 22h eingedüst, die innerhalb der Dachfläche 10 entlang der Symmetrielinie 17 gestaffelt angeordnet sind. Mit dieser Variante werden die Kanalwände besonders gut vor der heissen Hauptströmung geschützt, da der Brennstoff zunächst am Aussenumfang der Wirbel eingeführt wird.

Gemäss Fig. 13 wird der Brennstoff über Wandbohrungen 22j eingedüst, die sich in den längsgerichteten Kanten 12, 14 der Dachfläche 10 befinden. Diese Lösung gewährleistet eine gute Kühlung der Wirbel-Generatoren, da der Brennstoff an dessen Extremitäten austritt und somit die Innenwandungen des Elementes voll umspült. Die Sekundärströmung wird hier direkt in den entstehenden Wirbel hineingegeben, was zu definierten Strömungsverhältnissen führt.

In Fig. 14 geschieht die Eindüsung über Wandbohrungen 22d, die sich in den Seitenflächen 11 und 13 einerseits im Bereich der Längskanten 12 und 14 und andererseits im Bereich der Verbindungskante 16 befinden. Diese Variante ist wirkungsähnlich wie jene aus den Bohrungen 22a in Fig. 8 und aus den Bohrungen 22j in Fig. 13.

Fig. 15 zeigt eine perspektivische Teilansicht vom Zusammentreffen der Sekundärbrenner und der Verbrennkammer. Die im Austrittsbereich der Sekundärbrenner hier vorgesehenen Wirbel-Generatoren entsprechen jenen gemäss Fig. 2A. Die gezeigten radial inneren "halben" Wirbel-Generatoren 9a werden mit der Verbindungskante 16 zuerst angeströmt, welche sich hier in der gleichen Radialen befindet wie die Segment-Begrenzungswand 155; die radial äusseren "halben" Wirbel-Generatoren 9a werden mit der in Um-

fangsrichtung verlaufenden Kante 15 zuerst angeströmt.

Wie bereits oben erwähnt, sind am Austritt der Vorbrennkammer 61 im Bereich der Einmündung der Sekundärbrenner 150 an der Brennkammerwand 63' der Vorbrennkammer wirbelerzeugende Wannen 161 vorgesehen, die ähnlich aufgebaut sind wie die bisher beschriebenen Wirbel-Generatoren. Im Unterschied zu diesen bilden hier die beiden Seitenflächen und die Dachfläche keine konkrete Spitze aus. Wie Fig. 1 zeigt, wird durch diese gestuften Wannen die radial äussere Strömung der Vorbrennkammer radial auswärts verwirbelt und prallt auf das radial einwärts strömende Gemisch aus den Sekundärbrennern.

Zur Kompensation dieses radial aussen ausgelenkten Teilstromes ist der Übergang der Vorbrennkammer 61 in die Nachbrennkammer 62 an der Wannen 161 gegenüber liegenden Brennkammerwand 63 mit einer Einschnürung 171 versehen, um die Flächenverhältnisse nicht zu stören.

Fig. 16 zeigt eine perspektivische Teilansicht vom Eintritt der Sekundärbrenner, wobei in dieser ersten Ebene wiederum halbe Wirbel-Generatoren 9a gemäss Fig. 5 angeordnet sind, allerdings in einer andern Anordnung als jene am Sekundärbrenner-Austritt. Vorge-
sehen sind für die einzelnen Brenner je eine zentrale Brennstofflanze 151 für Öl sowie Gaszufuhrstutzen 156 zu den Wirbel-Generatoren. In **Fig. 16A**, welche eine Detailansicht von Fig. 16 darstellt, ist die Wirbelbildung beidseitig der radial verlaufenden Segment-Begrenzungswand 155 gezeigt; dadurch, dass die in Umfangsrichtung nebeneinanderangeordneten halben Wirbel-Generatoren abwechselnd mit der Kante 15 und der Kante 16 von der Luft zuerst beaufschlagt werden, entsteht ein gleichsinniger Gesamtwirbel im Gegenuhrzeigersinn.

Zur Mischzone:

Die Wirbel-Generatoren in den Sekundärbrennern können so ausgelegt werden, dass Rezirkulationszonen stromabwärts grösstenteils vermieden werden. Dadurch ist die Verweilzeit der Brennstoffpartikel in den heissen Zonen sehr kurz, was sich günstig auf minimale Bildung von NO_x auswirkt. Die Wirbel-Generatoren können jedoch, wie im vorliegenden Fall, auch so ausgelegt und in der Tiefe des Kanals 154 so gestaffelt werden, dass am Austritt der Sekundärbrenner eine definierte Rückstromzone 170 entsteht, welche die Flamme auf aerodynamische Weise stabilisiert, d.h. ohne mechanischen Flammenhalter.

Das Gemisch verlässt die Sekundärbrenner 150 wirbelbehaftet und tritt in die Flamme aus der Vorbrennkammer 61 ein. Dabei entsteht durch die Kollision der beiden Wirbelströmungen eine innige Durchmischung auf kürzester Wegstrecke und ein erneutes Wirbelauflösen, was zur bereits erwähnten Rückstromzone 170 führt.

Das intensive Vermischen bewirkt ein gutes Temperaturprofil über dem durchströmten Querschnitt und reduziert überdies die Möglichkeit des Auftretens von thermoakustischer Instabilität. Allein durch ihre Anwesenheit wirken die Wirbel-Generatoren als Dämpfungsmassnahme gegen thermoakustische Schwingungen.

Mit den beschriebenen Brennern ist durch abgestufte Brennstoffzufuhr zu den einzelnen Modulen der Teillastbetrieb von Brennkammern einfach zu realisieren. Wenn nur die Primärbrenner mit Vormischflamme betrieben werden, wird die Hauptströmung der Sekundärbrenner als Verdünnungsluft benutzt. Diese stark verwirbelte Hauptströmung vermischt sich am Austritt der Sekundärbrenner sehr schnell mit den aus der Primärstufe austretenden heissen Gasen. Stromabwärts wird somit ein gleichmässiges Temperaturprofil erzeugt. Beim Belasten des Brenners wird stufenweise Brennstoff in die Sekundärbrenner eingedüst und vor der Zündung intensiv in die Verbrennungsluft eingemischt. Diese Sekundärbrenner arbeiten also stets im Vormischbetrieb; sie werden von den Primärbrennern aus gezündet und stabilisiert.

Die Brenner-Aerodynamik besteht aus zwei radialgestuften Wirbelbildern. Die radial äusseren Wirbel sind abhängig von der Anzahl und Geometrie der Wirbel-Generatoren 9. Die radial innere, vom Doppelkegelbrenner ausgehende Wirbelstruktur kann durch Anpassen von gewissen geometrischen Parametern am Doppelkegelbrenner beeinflusst werden. Die Mengenverteilung zwischen Primärbrenner und Sekundärbrennern kann beliebig vorgenommen werden durch entsprechende Abstimmung der durchströmten Flächen, wobei die Druckverluste zu berücksichtigen sind. Dadurch, dass die Wirbel-Generatoren einen relativ geringen Druckverlust aufweisen, können die Sekundärbrenner mit einer grösseren Geschwindigkeit durchströmt werden als der Primärbrenner. Eine höhere Geschwindigkeit am Austritt der Sekundärbrenner wirkt sich günstig hinsichtlich des Rückschlagens der Flamme aus.

In **Fig. 17** wird eine Ringbrennkammer vorgeschlagen, bei der die oben beschriebenen radialgestuften Wirbelbilder genau definiert sind. Der radial innere gross-skalige Wirbel und der radial äussere Wirbel haben umgekehrten Drehsinn. Um dies zu erreichen, sind um den Doppelkegelbrenner 101 herum eine Anzahl von Wirbel-Generatoren 9a gemäss Fig. 5 gruppiert. Es handelt sich dabei um sogenannte halbe Wirbel-Generatoren, bei welchen nur die eine der beiden Seitenflächen des Wirbel-Generators 9a mit dem Pfeilwinkel $\alpha/2$ versehen ist. Die andere Seitenfläche ist gerade und in Brennerachse ausgerichtet. Im Gegensatz zum symmetrischen Wirbel-Generator wird hier nur ein Wirbel an der gepfeilten Seite erzeugt. Es liegt demnach stromabwärts des Wirbel-Generators kein wirbelneutrales Feld vor, sondern der Strömung wird ein Drall aufgezwungen. Nachdem die in Umfangsrichtung gleichmässig verteilten Wirbel-Generatoren alle die gleiche Orientierung aufweisen, entsteht aus der ursprünglich drallfrei-

en Hauptströmung stromabwärts der Wirbel-Generatoren ein über dem Umfang gleichgerichteter Drall, wie dies in Fig. 17 angedeutet ist.

Die Figuren 18 und 19 zeigen in einer Draufsicht eine Ausführungsvariante eines Wirbel-Generators 9c und in einer Vorderansicht seine Anordnung in einem kreisringförmigen Kanal. Die beiden den Pfeilwinkel α einschliessenden Seitenflächen 11 und 13 weisen eine unterschiedliche Länge auf. Dies bedeutet, dass die Dachfläche 10 mit einer schräg zum durchströmten Kanal verlaufenden Kante 15a an der gleichen Kanalwand anliegt wie die Seitenwände. Über seiner Breite weist der Wirbel-Generator dann selbstverständlich einen unterschiedlichen Anstellwinkel Θ auf. Eine derartige Variante hat die Wirkung, dass Wirbel mit unterschiedlicher Stärke erzeugt werden. Beispielsweise kann damit auf einen der Hauptströmung anhaftenden Drall eingewirkt werden. Oder aber durch die unterschiedlichen Wirbel wird der ursprünglich drallfreien Hauptströmung stromabwärts der Wirbel-Generatoren ein Drall aufgezungen.

Derartige Konfigurationen eignen sich gut als eigenständige, kompakte Brenneinheit. Bei der Verwendung von mehreren solcher Einheiten, beispielsweise in einer Ringbrennkammer, kann der der Hauptströmung aufgezwungene Drall ausgenutzt werden, um das Querbrennverhalten der Brennerkonfiguration, z.B. bei Teillast, zu verbessern.

Zur Wirkungsweise:

Fig. 20 zeigt in einem selbsterklärenden Schaubild, wie sich die Temperaturen längs der Brennkammer-Erstreckung entwickeln. Mit 173 ist darin (wie in Fig. 1) die erste Turbinen-Leitschaufelreihe bezeichnet.

Folgende, oberhalb des Diagrammes aufgetragene und in Fig. 1 ebenfalls bezeichnete Zonen bedeuten:

- 115 Vormischbereich im Primärbrenner 110
- 61 Vorbrennkammer
- SMF erster Vormischbereich und Brennstoffeindüsung im Sekundärbrenner 150
- S2M zweiter Vormischbereich im Sekundärbrenner 150
- M Mischzone
- BO Ausbrandzone in der Nachbrennkammer 62
- ZT Übergangszone zum Turbineneintritt 173

Weiter bedeuten:

- EI Ort der Fremdzündung beim Primärbrenner
- SI Ort der Selbstzündung in der Mischzone M

Auf der Abzisse sind aufgetragen folgende Temperaturen:

- T_F Flammen-Temperatur
- T_T Turbineneintritts-Temperatur

- T_{SI} Selbstzünd-Temperatur
- T_{IN} Temperatur des Brennstoff/Luftgemisches

Weiter bedeuten:

- 5 δT_{1C} Temperaturerhöhung infolge Verbrennung
- δT_{1m} Temperatursenkung infolge Vermischung
- δT_{2m} Temperaturerhöhung infolge Vermischung
- 10 δT_{2C} Temperaturerhöhung infolge Verbrennung

Die Wirkung der neuen Massnahme ist folgende: Anlässlich der Vorverbrennung wird infolge der hälftigen Aufteilung auf Primärbrenner und Sekundärbrenner nur bei der Hälfte des gesamten Volumenstromes infolge der Temperaturerhöhung δT_{1C} Stickstoff produziert. Dieser halbe Volumenstrom weist bis zur Vermischung mit dem Gemisch aus den Sekundärbrennern nur eine kurze Verweilzeit in der Vorbrennkammer 61 auf, was sich günstig auf die NO_x -Produktion auswirkt.

20 Anlässlich der Vermischung der heissen Rauchgase aus der Vorbrennkammer 61 mit dem Brennstoff/Luft Gemisch aus den Sekundärbrennern darf die Mischtemperatur nicht unter die Selbstzünd-Temperatur T_{SI} absinken.

25 Nach der Selbstzündung ist die Temperaturerhöhung δT_{2C} des gesamten Volumenstromes zu gering, und die Periode bis zum vollständigen Ausbrand in der Zone BO zu kurz, um massgeblich NO_x zu produzieren.

Aus alldem ist erkennbar, dass bei diesem Mager/Mager-Konzept der gemittelte Volumenstrom nur während reduzierter Zeit der hohen Flammentemperatur ausgesetzt ist im Vergleich zu einer klassischen einstufigen Vormischverbrennung.

Äquivalente Lösungen:

Grundsätzlich ist die Erfindung nicht beschränkt auf auf die Verwendung von Primärbrennern der gezeigten Doppelkegelbauart. Sie ist vielmehr anwendbar in allen Brennkammerzonen, in denen eine Flammenstabilisierung durch ein vorherrschendes Luftgeschwindigkeitsfeld erzeugt wird. Als weiteres Beispiel hierfür wird auf den in Fig. 21 gezeigten Brenner verwiesen. In dieser Fig. 21 sind alle funktionsgleichen Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie beim Brenner gemäss Fig. 1-3B. Dies trotz unterschiedlicher Struktur, was insbesondere für die hier zylindrisch verlaufenden tangentialen Einströmspalte 119 gilt. Die Richtung Brenneraustritt zunehmende Fläche des durchströmten Vormischraumes 115 wird bei diesem Brenner durch einen zentral angeordneten Einsatz 130 in Form eines geraden Kreiskegels gebildet, wobei die Kegelspitze sich im Bereich der Frontplattenebene befindet. Es versteht sich, dass die Mantelfläche dieses Kegels auch gekrümmt sein kann. Dies gilt übrigens auch für den Verlauf der Teilflächen 111, 112 bei den in Fig. 1-3B gezeigten Brennern.

Selbstverständlich können in Abweichung zur ge-

zeigten und beschriebenen 2-Stufenverbrennung auch mehr als 2 Stufen zur Anwendung gelangen. Die Anzahl Verbrennungsstufen und die Art der Brennstoff- und Luft-Aufteilung auf die mehreren Stufen ist letztlich abhängig von der gewünschten Leistungsfähigkeit der Brennkammer.

Bezugszeichenliste

1	Brennkammer
9, 9a, 9b, 9c	Wirbel-Generator (vortex generator)
10	Dachfläche
11	Seitenfläche
12	Längskante
13	Seitenfläche
14	Längskante
15, 15a	quer verlaufenden Kante von 10
16	Verbindungskante
17	Symmetrielinie
18	Spitze
21	Kanalwand
22, a-j	Wandbohrung
Θ	Anstellwinkel
$\alpha, \alpha/2$	Pfeilwinkel
h	Höhe von 16
H	Kanalhöhe
L	Länge des Wirbel-Generators

50	Plenum
51	Längsachse des Primärbrenners
52	Längsachse der Vorbrennkammer
54	Frontplatte der Vorbrennkammer
55	Dom
61	Vorbrennkammer
63, 63'	Brennkammerwand

110	Primärbrenner
111	Teilkörper
112	Teilkörper
113	Mittelachse
114	Mittelachse
115	Vormischraum
116	Brennstoffdüse
117	Gaseinströmöffnung
118,	Brenneraustritt
119,	tangentialer Spalt
120	Brennstofflanze
123	Rückstromkalotte (vortex breakdown)
130	kegelförmiger Einsatz (Fig.22)

150	Sekundärbrenner
151	Brennstofflanze
152	Gaszufuhrkanal des Sekundärbrenners
153	Längsachse des Sekundärbrenners
154	Kanal
155	radiale Begrenzungswand
156	Gaszufuhrstutzen des Sekundärbrenners
161	Wannen

170	Rückstromzone (vortex breakdown)
171	Einschnürung
172	Nachbrennkammer
173	1. Turbinen-Leitschaufelreihe
5	
SMF	Vormischbereich und Brennstoffeindüsung (pre-mix section and fuel injection)
S2M	2. Vormischbereich (2. premix section)
M	Mischzone (mixing section)
10	
BO	Ausbrandzone (burn out zone)
ZT	Übergangszone zum Turbineneintritt
EI	Ort der Fremdzündung (external ignition)
SI	Ort der Selbstzündung (self ignition)
T_F	Flammen-Temperatur
15	
T_T	Turbineneintritts-Temperatur
T_{SI}	Selbstzünd-Temperatur
T_{IN}	Temperatur des Brennstoff/Luftgemisches
δT_{1C}	Temperaturerhöhung infolge Verbrennung
δT_{1m}	Temperatursenkung infolge Vermischung
20	
δT_{2m}	Temperaturerhöhung infolge Vermischung
δT_{2C}	Temperaturerhöhung infolge Verbrennung

Patentansprüche

- 25
1. Brennkammer mit zweistufiger Verbrennung, mit mindestens einem Primärbrenner (110) der Vormischbauart, bei dem innerhalb eines Vormischraumes (115) der über Düsen (117) eingespritzte Brennstoff vorgängig der Zündung mit der Brennluft intensiv vermischt wird, und mit mindestens einem Sekundärbrenner (150), der stromabwärts einer Vorbrennkammer (61) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet,
- 30
- 35
- dass der Primärbrenner (110) ein flammenstabilisierender Vormischbrenner ohne mechanischen Flammenhalter ist, mit zumindest annähernd tangentialer Einströmung der Brennluft in den Vormischraum (115),
- 40
- und dass der Sekundärbrenner (150) ein nicht selbstgängiger Vormischbrenner ist.
- 45
2. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Primärbrenner (110) nach dem Doppelkegelprinzip arbeitet mit im wesentlichen zwei hohlen, kegelförmigen, in Strömungsrichtung ineinandergeschachtelten Teilkörpern (111, 112), deren jeweilige Mittelachsen (113, 114) gegeneinander versetzt sind, wobei die benachbarten Wandungen der beiden Teilkörper in deren Längserstreckung tangentiale Spalte (119) für die Verbrennungsluft bilden, und wobei im Bereich der tangentialen Spalte in den Wandungen der beiden Teilkörper in Längsrichtung verteilte Gaseinströmöffnungen (117) vorgesehen sind.
- 50
- 55
3. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekenn-

zeichnet, dass in den Kanal (154) des Sekundärbrenners (150) ein gasförmiger und/oder flüssiger Brennstoff als Sekundärströmung in eine gasförmige Hauptströmung eingedüst wird, und dass die Hauptströmung über Wirbelgeneratoren (9, 9a, 9b, 9c) geführt wird, von denen über dem Umfang des durchströmten Kanals (154) mehrere nebeneinander angeordnet sind.

4. Brennkammer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
 - dass ein Wirbel-Generator (9, 9a, 9b, 9c) drei frei umströmte Flächen aufweist, die sich in Strömungsrichtung erstrecken und von denen eine die Dachfläche (10) und die beiden andern die Seitenflächen (11, 13) bilden,
 - dass die Seitenflächen (11, 13) mit einem gleichen Wandsegment (21) des Kanals bündig sind und miteinander den Pfeilwinkel (α , α_h) einschliessen,
 - dass die Dachfläche (10) mit einer quer zum durchströmten Kanal (154) verlaufenden Kante (15) am gleichen Wandsegment (21) anliegt wie die Seitenflächen (11, 13)
 - und dass die längsgerichteten Kanten (12, 14) der Dachfläche, die bündig sind mit den in den Strömungskanal hineinragenden längsgerichteten Kanten der Seitenflächen unter einem Anstellwinkel (θ) zum Wandsegment (21) verlaufen.
5. Brennkammer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden den Pfeilwinkel (α) einschliessenden Seitenflächen (11, 13) des Wirbel-Generators (9, 9c) symmetrisch um eine Symmetrieachse (17) angeordnet sind.
6. Brennkammer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis Höhe (h) des Wirbel-Generators zur Kanalhöhe (H) so gewählt ist, dass der erzeugte Wirbel unmittelbar stromabwärts des Wirbel-Generators (9) die volle Kanalhöhe oder die volle Höhe des dem Wirbel-Generator zugeordneten Kanalteils ausfüllt.
7. Brennkammer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sekundärströmung über eine im Kanal (154) zentral angeordnete Brennstofflanze (151) mittels Längseindüsung oder Querstrahleindüsung eingeleitet wird.
8. Brennkammer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Kanal (154) des Sekundärbrenners (150) in dessen Längsrichtung in zwei Ebenen nebeneinander angeordnete Wirbelgeneratoren (9, 9a, 9b, 9c) sind.

9. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsachse (153) des Sekundärbrenners (150) unter einem spitzen Winkel zur Längsachse (52) der Vorbrennkammer (61) verläuft.
10. Brennkammer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei ringförmiger Anordnung von mehreren Primärbrennern (110) und Sekundärbrennern (150) sich die Sekundärbrenner (150) radial aussen befinden, vorzugsweise zumindest annähernd in der gleichen Ebene wie die Primärbrenner (110).
11. Brennkammer nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass am Austritt der Vorbrennkammer (61) im Bereich der Einmündung der Sekundärbrenner (150) an der Brennkammerwand (63') der Vorbrennkammer wirbelerzeugende Wannen (161) vorgesehen sind.
12. Brennkammer nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergang der Vorbrennkammer (61) in die Nachbrennkammer (62) an der der Einmündung der Sekundärbrenner (150) gegenüber liegenden Brennkammerwand (63) mit einer Einschnürung (171) versehen ist.

FIG. 1

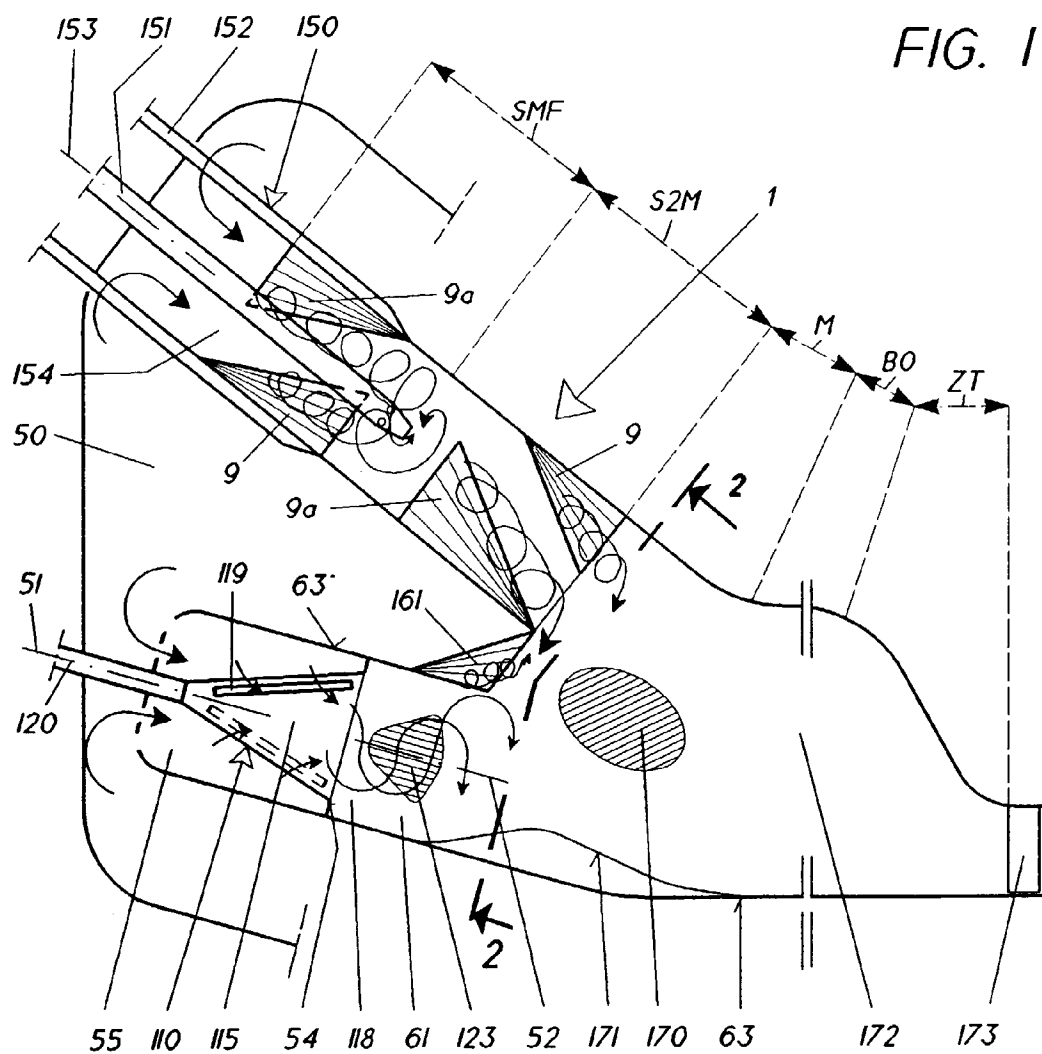
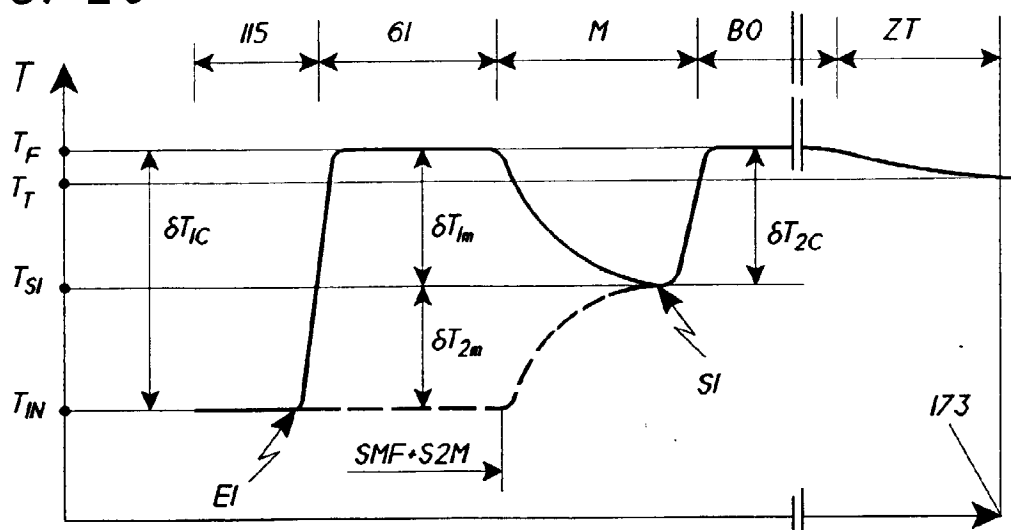


FIG. 20



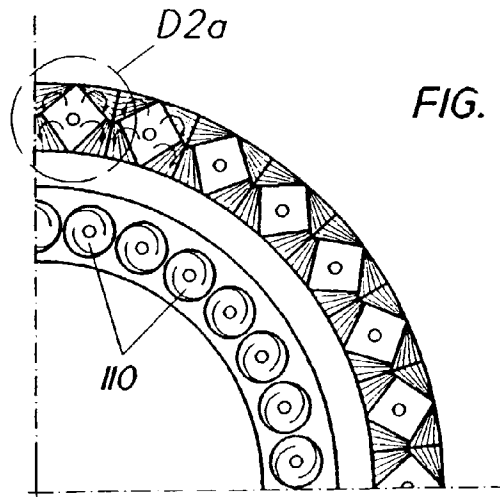
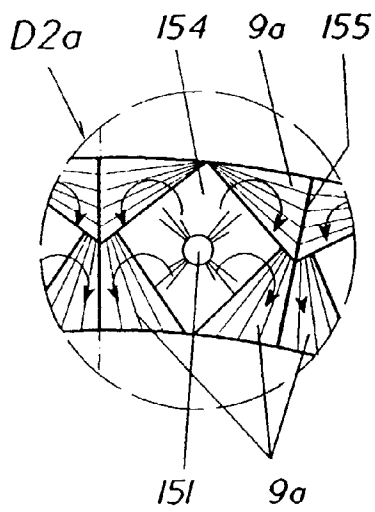


FIG. 2A

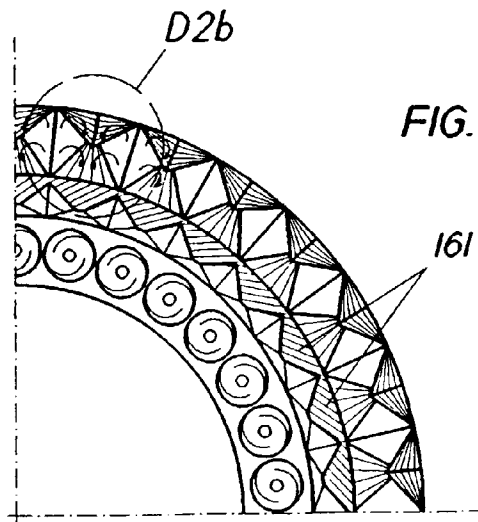
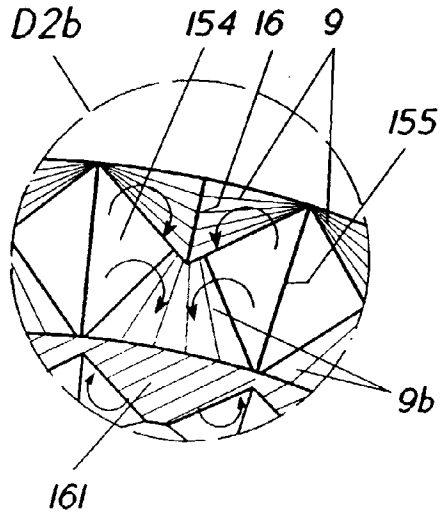


FIG. 2B

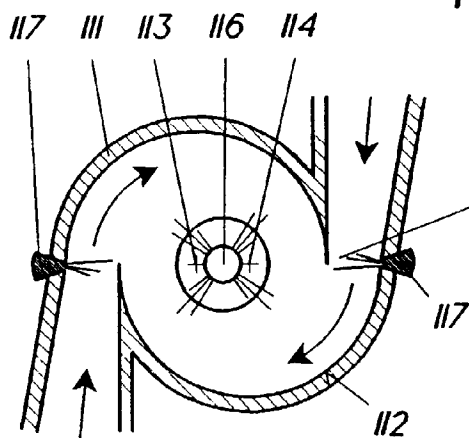


FIG. 3A

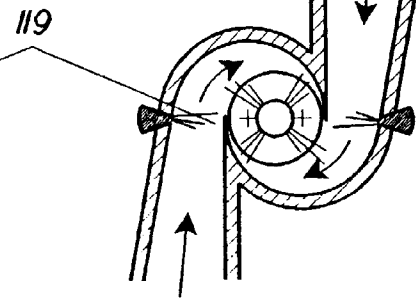
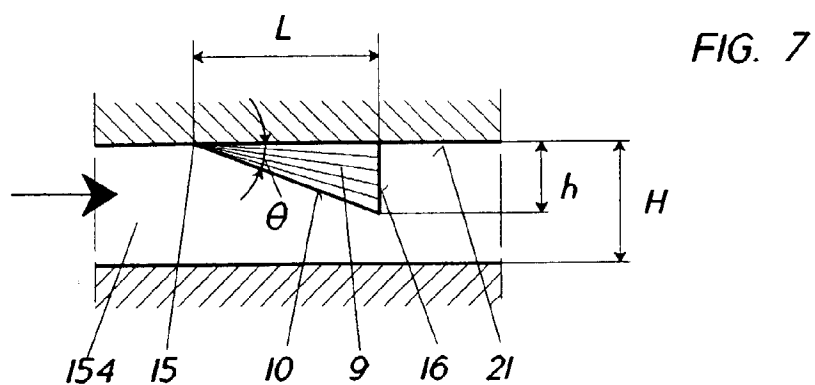
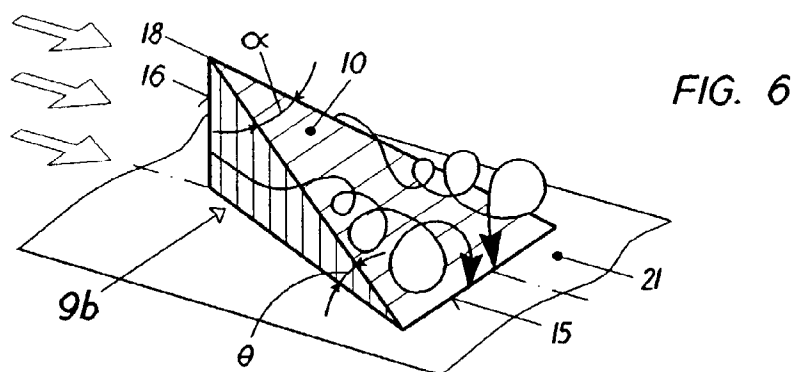
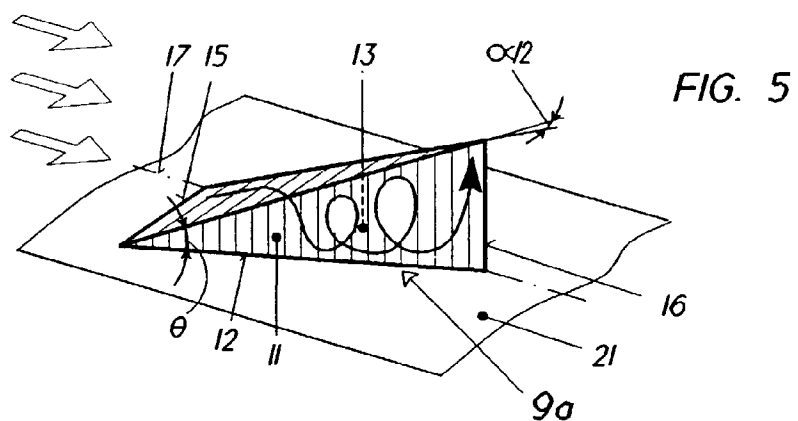
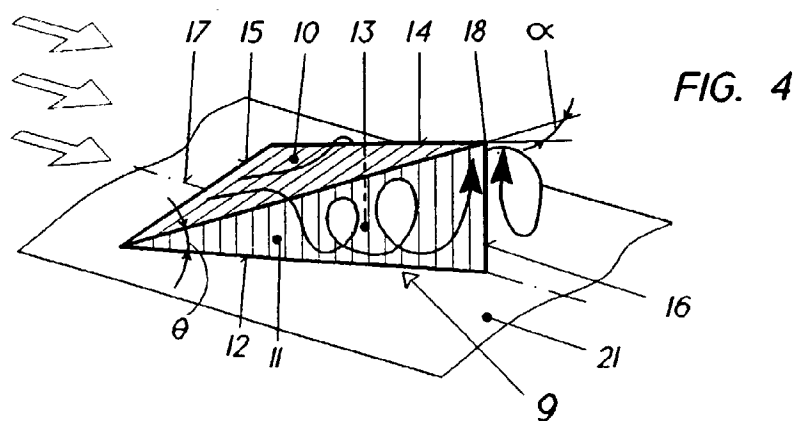
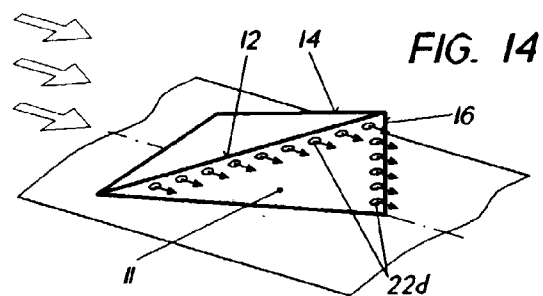
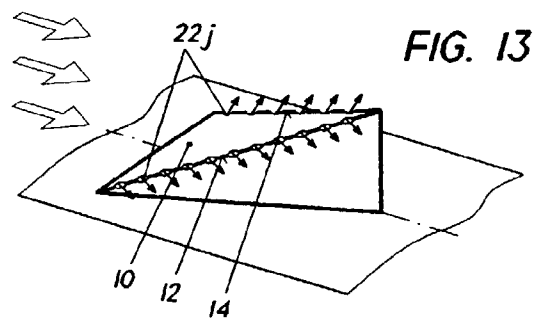
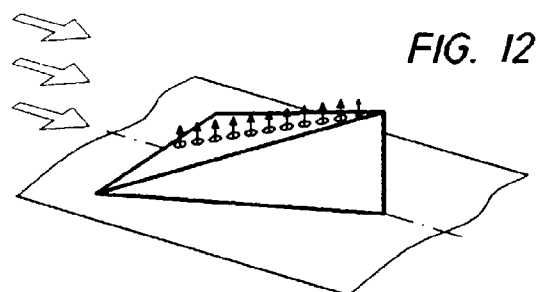
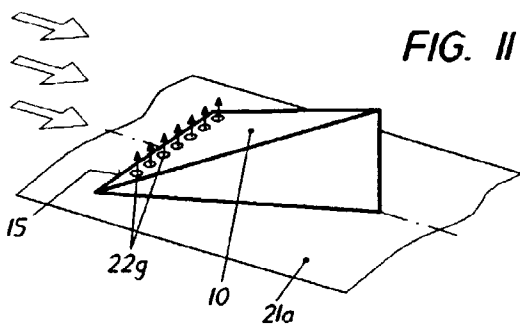
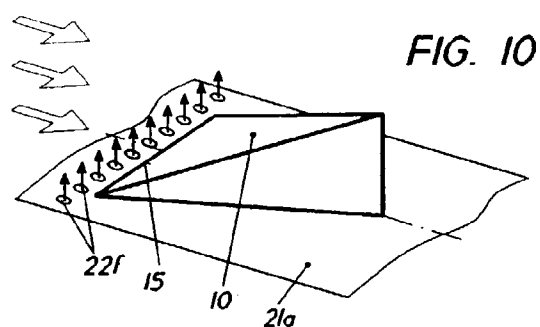
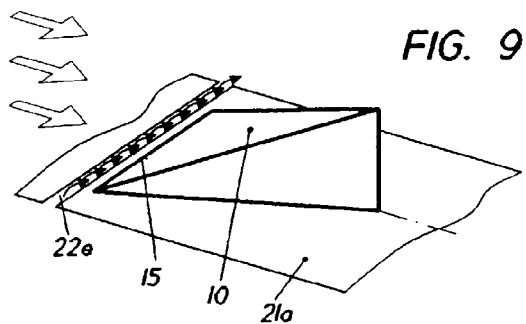
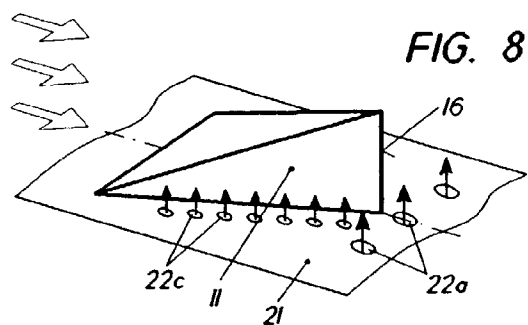


FIG. 3B





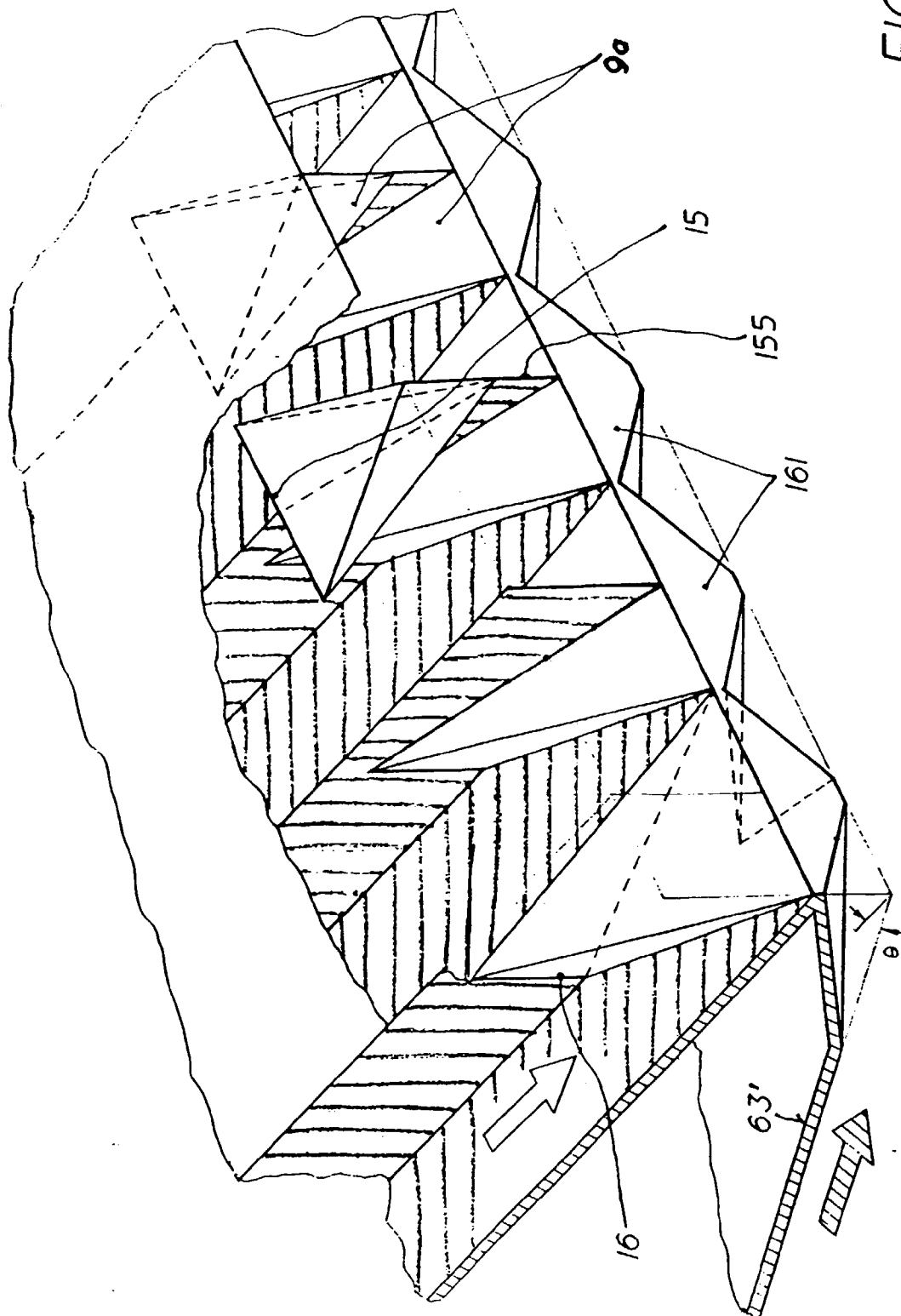


FIG. 15

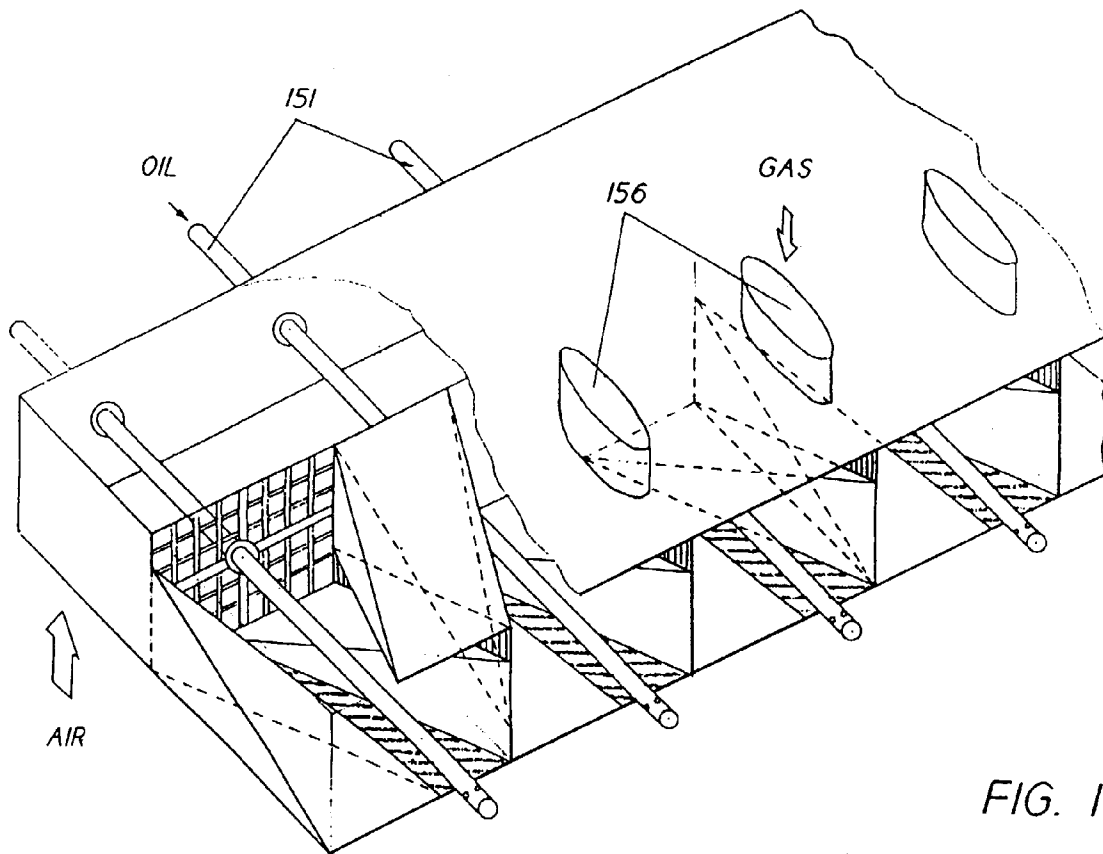


FIG. 16

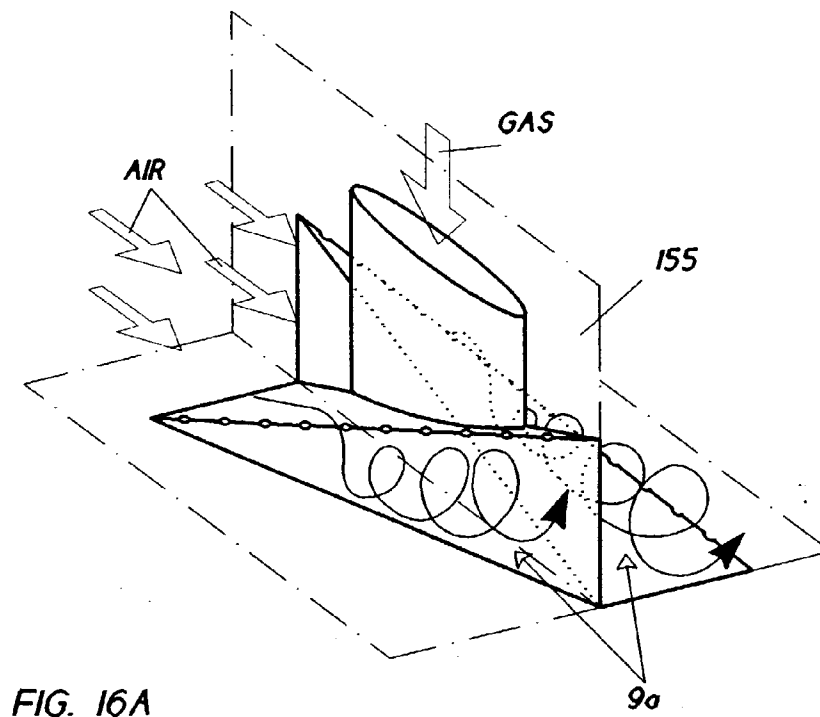


FIG. 16A

FIG. 17

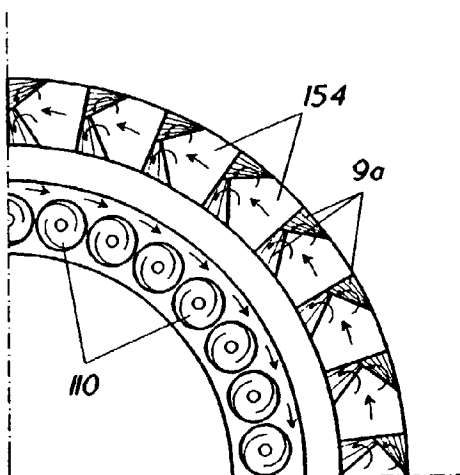


FIG. 18

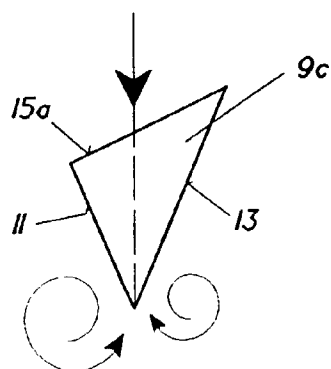


FIG. 19

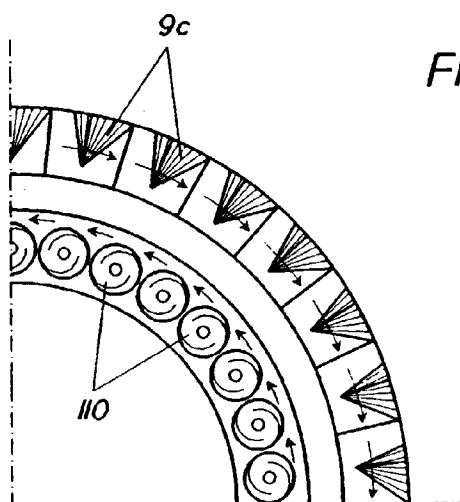


FIG. 21

