



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 05 913 T2 2005.02.03

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 175 582 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 05 913.1

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US01/07809

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 914 795.8

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 01/069132

(86) PCT-Anmeldetag: 12.03.2001

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 20.09.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 30.01.2002

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 29.09.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 03.02.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: F23D 14/12

F23D 14/06, F23C 6/04, F23D 14/48,

F23M 5/02

(30) Unionspriorität:

188807 P 13.03.2000 US  
208404 P 31.05.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR

(73) Patentinhaber:

JOHN ZINK COMPANY, LLC, Tulsa, Okla., US

(72) Erfinder:

POE, L., Roger, Beggs, US

(74) Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München

(54) Bezeichnung: WANDSTRAHLUNGSBRENNER MIT NIEDRIGER NOx-EMISSION

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG Feld der Erfin-dung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Feld der Strahlungswandbrenner. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf einen Strahlungswandbrenner, bei denen in einer einzelnen Brenneranordnung eine Anzahl von Technologien so kombiniert ist, dass eine niedrige NO<sub>x</sub>-Emission und ein niedriges Geräusch erreicht werden.

### Stand der Technik

**[0002]** Reduktion und/oder Vermeidung von NO<sub>x</sub> waren bei Strahlungsbrennern immer ein wünschenswertes Ziel. Eine Vermeidung von NO<sub>x</sub> wurde in der Vergangenheit durch Bereitstellung eines Anteils von gasförmigem Brennstoff erreicht. Niederdruck-Stufen-Gas kann in die Verbrennungszone entweder durch Niederdruckgas-Düsen, die entlang der Begrenzungsfläche des Brenners angeordnet sind oder durch eine mittige Gasdüse, die aus der Mitte der Abschlusskappe des Strahlungsbrenners herausragt, eingebracht werden. Diese Anordnungen waren nicht immer erfolgreich, da zum Zweck der NO<sub>x</sub> Vermeidung der Stufenbrennstoff nicht in Bereiche der Verbrennungszone eingebracht werden sollte, wo die Sauerstoffkonzentration mehr als ca. 4 Volumenprozent beträgt.

**[0003]** Anträge zum Stand der Technik für Gasbrennstoffbrenner beinhalten die in US-A-5271729, US-A-4257762 und US-A-3684424 beschriebenen Anträge. Der Brenner bei US-A-3684424 beinhaltet eine Brennerröhre, die ein Gemisch aus Luft und Gas an sich radial einander zuwendende Öffnungen liefert, durch die das Gas-Luftgemisch quer über eine radial verzahnte Kachelfläche geleitet wird. US-A-4257762 legt eine gewöhnlich ähnliche Anordnung offen, aber die Öffnungen sind schräg angeordnet, um das Gas-Luftgemisch vom vorderen Ende der Brennerröhre nach hinten gegen die Kachelfläche zu leiten. Der Brenner bei US-A-5271729 beinhaltet eine Brennerröhre mit Öffnungen am vorderen Ende, um das Gas- und Luftgemisch radial nach außen zur Mitte einer topfförmigen Kachelfläche zu leiten, und eine zweite Stufendüse, zu der ein Gas- und Luftgemisch durch eine axiale Zweistufen-Vormischröhre geführt wird, ragt über das Ende der Brennerröhre hinaus und hat Anschlüsse, die so angeordnet sind, dass sie das Gas- und Luftgemisch radial und angrenzend an die vordere Kachelfläche leiten.

### ÜBERSICHT DER ERFINDUNG

**[0004]** Verschiedene Probleme, die bei Brennern nach dem Stand der Technik auftreten, werden durch

die Konzepte und Grundsätze der vorliegenden Erfindung behandelt. Besonders behandelt die Erfindung die immer vorhandene Notwendigkeit der NO<sub>x</sub> Vermeidung. Nach einem Gesichtspunkt der Erfindung, hat sich erwiesen, dass wenn Gas stufenweise verbrannt wird, kann es manchmal für nur ca. 6 ppm (Vol.) der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen eines einzelnen Brenners verantwortlich sein. Dementsprechend wurde es als wünschenswert erachtet, das Konzept der abgestuften Brennstoffzuführung in Strahlungswandbrennern zu überarbeiten. Verschiedene Konfigurationen wurden getestet, einige erfolgreicher als andere, aber keine zur absoluten Zufriedenheit. Bei einigen Konfigurationen wurde der Brennstoff durch eine Vielzahl von Röhren, bei sehr niedrigem Umgebungsdruck um den Brenner, stufenweise zugeführt. In einem solchen Fall wird der Brennstoff stufenweise in die Nähe eines Verbrennungsgemischs eingebracht, das noch sehr sauerstoffreich ist. Dieser Sauerstoffüberschuss führt zu höheren Flammtemperaturen und einem höheren NO<sub>x</sub> Gehalt in den Abgasen.

**[0005]** Bei anderen Konfigurationen wurde Gas stufenweise vom axialen entfernten Ende der Vormisch-Austrittsdüse in die Verbrennungszone eingebracht. Die Konfiguration, bei der Brennstoff stufenweise koaxial zur Mittellinie der Vormisch-Brenner-Baugruppe eingespritzt wurde, war verglichen mit der ersten, oben besprochenen Konfiguration wenigstens teilweise etwas erfolgreicher in der Erreichung niedriger NO<sub>x</sub>-Emissionen, infolge der Tatsache, dass der Einspritzpunkt sowohl in beabstandeter Beziehung zur Fläche der Kachel, als auch entfernt vom sauerstoffreichen Strom, der die Vormisch-Austrittsdüse verlässt, angeordnet ist. Die Kehrseite dieser besonderen Methodik liegt darin, dass der Impuls des Stufen-Gas-Strahls den ersten sauerstoffreichen Vormischstrom als eine mitgerissene Strömung, in den Strahl drücken kann, und es auch oft tut, und dabei sowohl die Verfügbarkeit eines Sauerstoffüberschusses als auch die Produktion von NO<sub>x</sub> erhöht. Dieses Problem verschlimmert sich bei Anwendungen, die eine Vielzahl von einzelnen Brennern in einer Anordnung benötigen aufgrund der Wechselbeziehungen zwischen den Brennern.

**[0006]** Nach einem wichtigen Aspekt der Erfindung wird eine Niedrig-NO<sub>x</sub>-Brenner-Düsen-Baugruppe für einen Strahlungswandbrenner bereitgestellt. Die Baugruppe beinhaltet eine längliche Brenner-Hohlröhre, eine Austrittsdüse und eine mittige Stufen-Brennstoffdüse. Die Brennerröhre hat eine mittige Achse, die sich in Längsrichtung erstreckt und einen Kanal umgrenzt, der sich entlang der Achse erstreckt um einen Strahlverbrennungsbereich einer Verbrennungszone, die sich radial erstreckt und die Düsen-Baugruppe umgibt, mit einem Gemisch aus Brennstoff und Luft zu versorgen. Das Gemisch sollte möglichst ein Magergemisch sein. Die Austrittsdüse

ist auf der Röhre stromabwärts an einem Ende des Kanals angrenzend an die Verbrennungszone befestigt, und dieselbe ist geeignet zur Aufnahme des Gemischs aus Brennstoff und Luft von dem Kanal und zur Weiterleitung desselben in den Strahlungs-Verbrennungsbereich in einer im Wesentlichen radialen Richtung relativ zu der Achse der Röhre. Die Austrittsdüse beinhaltet eine Abschlusskappe, die dazu dient die Strömung des Gemischs in axiale Richtung zu verhindern. Deshalb wird das Gemisch gezwungen gewöhnlich radial durch die Durchlässe zu strömen. Die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse beinhaltet einen Röhrenabschnitt, der sich entlang der Achse des Kanals erstreckt, und eine Stufen-Brennerdüsen spitze am stromabwärts liegenden Ende des Röhrenabschnitts. Die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse ist so angeordnet, dass die durch ein Loch in der Abschlusskappe axial herausragt. Die Düse hat eine Brennstoffversorgungs-Austrittsöffnung, zur Versorgung der Verbrennungszone mit Brennstoff, die sich in beabstandeter Beziehung zum Strahlungs-Verbrennungsbereich befindet.

**[0007]** Nach einer Konstruktion der Erfindung, ist die Versorgungs-Austrittsöffnung so angeordnet, dass sie Brennstoffgas in einem aufwärts nach außen gerichteten Winkel relativ zu einer Ebene, die senkrecht zur Achse liegt, in die Verbrennungszone einbringt. Der Winkel sollte vorzugsweise mindestens 30° betragen. In einer anderen Konstruktion nach der Erfindung, ist die Versorgungs-Austrittsöffnung so angeordnet, dass sie Brennstoffgas in axialer Richtung einbringt.

**[0008]** Die Austrittsdüse kann eine Vielzahl von Stromleitelementen beinhalten, die in einer Anordnung angeordnet sind, die sich in Umfangsrichtung um die Austrittsdüse herum erstreckt, und die Elemente sollten möglichst so angeordnet sein, dass sie dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen umgrenzen, die sich gewöhnlich in radiale Richtung zur Achse erstrecken.

**[0009]** Vorzugsweise sollten die Stromleitelemente so angeordnet sein, dass einige der dazwischen liegenden Durchlässe einen größeren Strömungsbereich haben als andere. Es ist wünschenswert, dass die Elemente die Form von Blechstreifen haben, die im Wesentlichen eine rechtwinklige Form haben. Idealerweise sollten die Durchlässe sich auch in axialer Richtung erstrecken. In einer sehr bevorzugten Form der Erfindung kann die Abschlusskappe eine Seitenkante haben, die sich in einem ersten radialen Abstand zu der Achse befindet, und jedes der Elemente kann eine Außenkante haben, die sich in einem zweiten radialen Abstand zu der Achse befindet. Der zweite radiale Abstand kann idealer Weise größer sein als der erste radiale Abstand, so dass die von den Elementen umgrenzten Durchlässe sich entlang der Seitenkante der Abschlusskappe radial nach au-

ßen erstrecken.

**[0010]** Nach einer anderen bevorzugten Form der Erfindung, kann die Düse ein internes Leitblech beinhalten, das so positioniert und angeordnet ist, dass es wenigstens einen Teil des Gemischs, das durch den Kanal strömt zurück leitet und bewirkt, dass dasselbe gewöhnlich in radiale Richtung durch die Durchlässe strömt.

**[0011]** Die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse kann so positioniert sein, dass ein stromabwärts liegendes Teil des Röhrenabschnitts jenseits der Abschlusskappe so hervorragt, dass die Düse in axial beabstandeter Beziehung hinsichtlich der Abschlusskappe positioniert ist. In dieser besonders wünschenswerten Form der Erfindung kann die Niedrig-NO<sub>x</sub> Brenner-Düse idealer Weise eine längliche Schutzscheide beinhalten, die in umgebender Beziehung hinsichtlich des hervorragenden Teils des Röhrenabschnitts und der Düse angeordnet ist. Es ist wünschenswert, dass diese Scheide eine Öffnung beinhaltet kann, die in einer Linie mit der Austrittsöffnung angeordnet ist. Die Scheide kann auch mit einer oder mehreren Luftpuffertöffnungen ausgestattet sein, die so konfiguriert sind, dass sie den Gasen erlauben, zwischen der Scheide und dem Röhrenabschnitt in die Verbrennungszone zu entweichen. Nach den vorangehenden Aspekten der Erfindung kann die Stufen-Brennerdüse, ungeachtet der Form der Austrittsdüse, von bedeutendem Wert sein. Deshalb kann die Stufen-Brennerdüse der Erfindung mit jeder Art von radialer Austrittsdüse verwendet werden, die so wirkt, dass sie ein brennbares Gemisch aus Brennstoff und Luft radial quer über die Fläche einer Strahlenkachel verteilt.

**[0012]** In einer Ausführungsform hat die Brennerröhre eine Außenwand, die den Kanal umgibt, ein Einlass für das Gemisch aus Brennstoff und Luft befindet sich gegenüber der Austrittsdüse am Ende der Brennerröhre, ein Luftpuffert befindet sich außerhalb der Wand der Brennerröhre, und mindestens ein Anschluss erstreckt sich durch die Außenwand an einer Stelle zwischen der Austrittsdüse und dem Einlass, der mit dem Kanal und dem Luftpuffert in Verbindung steht.

**[0013]** Die Brennerröhre kann eine Venturi-Röhre umfassen, die eine Kehle hat, die mit einer Luftzufluss und einer Quelle von unter Druck stehendem Brennstoffgas in Verbindung steht. Es ist wünschenswert, dass die Venturi-Röhre so angeordnet ist, dass die Strömung von Brennstoffgas durch die Kehle eine Luftströmung von der Luftquelle auslöst, wobei das Gemisch aus Brennstoff und Luft in der Kehle erzeugt wird und bewirkt wird, dass es auf die Austrittsdüse zuströmt.

**[0014]** Die Erfindung liefert auch einen Niedrig-NO<sub>x</sub>

Strahlungswandbrenner, der eine Brennerkachel beinhaltet, die eine von einer Strahlungskachelfläche umgebene Mittelloffnung hat, und eine wie oben beschriebene längliche Niedrig-NO<sub>x</sub> Brenner-Düsen-Baugruppe, die sich durch diese Öffnung erstreckt. Die Fläche der Brennerkachel kann entweder gewölbt oder flach sein.

**[0015]** Außerdem kann die Düsenbaugruppe und/oder der Brenner der Erfindung verwendet werden zur Durchführung eines Verfahrens zur Verbrennung von Brennstoff in einer Verbrennungszone, die die Bereitstellung eines mageren Brennstoffgemischs aus Luft und Brennstoff beinhaltet, und das Gemisch an einen mittig gelegenen Punkt angrenzend an eine Fläche einer Brennerkachel abgibt, wobei der Punkt angrenzend an die Verbrennungszone angeordnet ist und bewirkt, dass das Gemisch in einer Vielzahl von Strömen quer über die Kachelfläche von dem mittig gelegenen Punkt radial nach außen strömt, den Brennstoff in dem Gemisch in einem an die Kachelfläche angrenzenden Bereich der Verbrennungszone verbrennt, einen Stufen-Brennstoff für die Zone an einem von dem Bereich beabstandeten Ort bereitstellt, und den Stufen-Brennstoff in einer Umgebung verbrennt, die Abgase und nicht mehr als ca. 4 Volumenprozent Sauerstoff enthält.

**[0016]** In einer bevorzugten Niedrig-NO<sub>x</sub> Brenner-Düsen-Baugruppe der Erfindung, die mindestens einen Anschluss beinhaltet, der sich durch die Außenwand der Brennerröhre an einer Stelle zwischen der Austrittsdüse und dem Einlass zur Verbindung des Kanals mit einem Luftpummler, der sich außerhalb der Brennerröhre befindet erstreckt, hat der Anschluss eine Mittenachse, die im Wesentlichen senkrecht zur Mittenachse der Röhre liegt. Alternativ kann der Anschluss eine Mittenachse haben, die im Winkel zur Mittenachse der Röhre steht. Idealerweise kann die Baugruppe eine Vielzahl von Anschlüssen beinhalten, die sich durch die Wand der Röhre an der jeweiligen Stelle zwischen der Austrittsdüse und dem Einlass erstrecken. In einer bevorzugten Form der Erfindung können die Anschlüsse in einer oder mehreren Anordnungen angeordnet sein, die sich um die Außenwand der Röhre erstrecken.

**[0017]** Die Düsenbaugruppe, die mindestens einen Anschluss hat, der sich durch die Wand der Brennerröhre erstreckt, kann als eine Komponente eines Niedrig-NO<sub>x</sub> Strahlungswandbrenners verwendet werden, der eine Brennerkachel beinhaltet, die eine mittige Öffnung hat. In solch einem Fall kann sich die Düsenbaugruppe durch die mittige Öffnung der Kachel erstrecken. Es ist wünschenswert, dass die Austrittsdüse eine Vielzahl von Strömungsleitelementen hat, die so angeordnet sind, dass sie dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen umgrenzen, die sich gewöhnlich in radiale Richtung hinsichtlich der Brennerröhrenachse erstrecken, und eine Ab-

schlusskappe ist an einer Stelle auf den Elementen montiert, um mindestens einen Teil des Gemisches, das vom Ende des Kanals strömt zurück zu leiten und zu bewirken, dass dasselbe durch die Durchlässe gewöhnlich in radiale Richtung strömt, so dass nach der Zündung das zurück geleitete Gemisch aus Brennstoff und Luft eine sich gewöhnlich seitlich erstreckende Flamme liefert, die ein äußeres peripheres Extrem an einer Stelle in der radial zur Achse beabstandeten Zone hat.

**[0018]** Außerdem wird hierin ein Verfahren zum Betrieb eines Brenners beschrieben, das folgende Schritte beinhaltet: ein Gemisch aus Brennstoff und Luft wird veranlasst in Richtung eines mittig gelegenen Punktes angrenzend an eine Brennerkachelfläche zu strömen; ein mindestens aus zusätzlicher Luft oder rückgeführtem Abgas bestehenden Strom wird veranlasst, in Richtung einer Stelle angrenzend an die Fläche, die seitlich von dem Punkt beabstandet ist, zu strömen und einen Teil des Gemisches zu trennen und mit dem Strom zu vermischen, um dabei eine ultramagere Beimischung zu erzeugen, die zu einer flammenlosen Oxidation fähig ist, bevor dieselbe den Punkt erreicht. Noch spezieller kann dieses Verfahren die folgenden Schritte beinhalten: ein Gemisch aus Brennstoff und Luft wird veranlasst in Richtung eines mittig gelegenen Punktes angrenzend an eine Brennerkachelfläche zu strömen; ein erster Teil des Gemisches wird in eine Vielzahl getrennter Ströme aufgeteilt und diese Ströme werden veranlasst, von diesem Punkt quer über die Kachelfläche radial nach außen zu strömen; diese Ströme werden veranlasst unter Bildung von Flammen zu verbrennen, wobei jede eine periphere äußere Endstelle hat, die radial zu dem besagten Punkt beabstandet ist; eine Sekundärluft wird für die Flamme an einer Stelle bereitgestellt, die an die besagten Endstellen angrenzt; ein zweiter Teil des Gemisches wird zu der Sekundärluft an einer Stelle, stromaufwärts von der besagten Stelle hinzugefügt, um eine Beimischung zu erzeugen, die fähig ist, eine flammenlose Oxidation auf der Fläche der besagten Kachel zu durchlaufen; und die besagte Beimischung wird auf der besagten Fläche flammenlos oxidiert, um relativ kühle Oxidationsprodukte zu erzeugen. Die Oxidationsprodukte können mit den Verbrennungsgasen vermischt werden, um dieselben dabei abzuschwächen und zu kühlen, und eine Strömung zurückgeführten Abgases kann der besagten Flamme an einer an die besagten Endstellen angrenzende Stelle zugeführt werden.

**[0019]** Brenner der Vormisch-Bauart nach dem Stand der Technik waren nicht fähig so viele NO<sub>x</sub> Vermeidungstechnologien in einem einzelnen Brenner anzuwenden wie sie in den Brenneranordnungen der vorliegenden Erfindung bereitgestellt werden.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] **Fig.** 1 ist ein Seitenaufriss, teilweise als Querschnitt, eines Niedrig-NO<sub>x</sub> Strahlungswandbrenners, der die Konzepte und die Grundsätze der Erfindung verkörpert;

[0021] **Fig.** 2 ist ein Seitenaufriss der Düsenanordnung des Brenners von **Fig.** 1;

[0022] **Fig.** 3 ist eine Draufsicht einer bevorzugten Ausführungsform der Austrittsdüse der Düsenanordnung von **Fig.** 2;

[0023] **Fig.** 4 ist ein vergrößerter Querschnitt-Aufriss der Austrittsdüse von **Fig.** 3;

[0024] **Fig.** 5 ist eine vergrößerte Ansicht, teilweise als Querschnitt, der Austrittsdüse von **Fig.** 3;

[0025] **Fig.** 6 ist eine vergrößerte Ansicht, ähnlich wie in **Fig.** 5 teilweise als Querschnitt, zur Darstellung einer Ausführungsform eines internen Leitblechs;

[0026] **Fig.** 7 ist eine schematische Ansicht der Düsenanordnung von **Fig.** 2;

[0027] **Fig.** 8A und 8B sind jeweils Seitenaufriss und Draufsicht einer Ausführungsform einer mittigen Stufen-Düsenspitze für die Düsenanordnung von **Fig.** 2;

[0028] **Fig.** 9 ist ein Seitenaufriss einer Ausführungsform einer Kachel, wie sie mit dem Brenner von **Fig.** 1 verwendet wird;

[0029] **Fig.** 10 ist eine Draufsicht der Kachel von **Fig.** 9;

[0030] **Fig.** 11 ist ein schematischer Seitenaufriss einer Ausführungsform einer Düsenanordnung, die in Verbindung mit der Erfindung nutzbar ist;

[0031] **Fig.** 12 ist ein schematischer Seitenaufriss einer alternativen Ausführungsform einer Düsenanordnung, die in Verbindung mit der Erfindung nutzbar ist;

[0032] **Fig.** 13 ist ein schematischer Seitenaufriss einer weiteren alternativen Ausführungsform einer Düsenanordnung, die in Verbindung mit der Erfindung nutzbar ist;

[0033] **Fig.** 14 ist ein schematischer Seitenaufriss noch einer weiteren alternativen Ausführungsform einer Düsenanordnung, die in Verbindung mit der Erfindung nutzbar ist;

[0034] **Fig.** 15 ist ein Seitenaufriss noch einer weite-

ren Brenneranordnung, die die Konzepte und Grundsätze der Erfindung verkörpert;

[0035] **Fig.** 16 ist ein vergrößerter Querschnitt der Austrittsdüse des Brenners von **Fig.** 15; und

[0036] **Fig.** 17 ist eine schematische Ansicht zur Darstellung des Betriebs des Brenners von **Fig.** 15, die das schematische Darstellen der Strömungswege der verschiedenen Verbrennungs- und flammenlosen Oxidationsströme, einschließt.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

[0037] Ein Brenner 10, der die Konzepte und Grundsätze der Erfindung verkörpert ist in **Fig.** 1 dargestellt, wo man sehen kann, dass derselbe eine Brennerkachel 12 einschließt, die eine mittig angeordnete Öffnung 14 hat, und eine Brennerdüsenbaugruppe 16, die eine Brenneraustrittsdüse 18 einschließt, die durch die Öffnung 14 hervorragt und sich in eine Verbrennungszone 20 erstreckt. Der Brenner 10 kann auch herkömmliche Bauteile einschließen, wie einen Schalldämpfer 22, eine Luftsleuse 24 und eine EInlassröhre 26, die die Verbindung zu einer Brennstoffgasquelle ermöglicht.

[0038] Bezuglich **Fig.** 2 kann man sehen, dass die Düsenbaugruppe 16 ein Passteil 28 einschließt, wodurch eine Zufuhr mit Brennstoffgas für die Düsenbaugruppe 16 bereitgestellt wird. Das Passteil 28 ist mit einer Kupplung 42 (siehe **Fig.** 7) verbunden, wodurch Brennstoffgas für die Austrittsdüse 18 bereitgestellt wird. Die Baugruppe 16 schließt eine längliche Brennerhohlröhre 30 und einen Sockel 32 ein. Die Röhre 30 erstreckt sich zwischen dem Sockel 32 und der Austrittsdüse 18 und liefert einen Durchlass für die Primärverbrennungsluft und passt das (nicht dargestellte) Gasversorgungssystem an, das mit Passteil 28 und Kupplung 42 in Verbindung steht.

[0039] Die Austrittsdüse 18 schließt vorzugsweise einen Brennstoffverteilabschnitt 36 und eine Abschlusskappe 38 ein. Bezuglich **Fig.** 5, 6 und 7 kann man sehen, dass der stromabwärts liegende Abschnitt 34 der Röhre 30 vorzugsweise eine Venturi-Röhre 40 einschließt, wodurch Brennstoffgas, das durch eine Öffnung 44 in Kupplung 42 ausgestoßen wird, eine Strömung von Verbrennungsluft von dem Inneren der Röhre 30 hervorruft. Wie gezeigt, kann die Kupplung 42 vorzugsweise mit einer Vielzahl von Öffnungen 44 ausgestattet sein. Das durch die Öffnungen 44 ausgestoßene Brennstoffgas mischt sich mit der hervorgerufenen Luft, um vorzugsweise ein brennbares Magerbrennstoffgas-Luftgemisch zu bilden, das Abschnitt 34 der Röhre 30 in Richtung und in den Brennstoffverteilabschnitt 36 durchläuft.

[0040] Der Brennstoffverteilabschnitt 36 wird in

**Fig. 3 und 4** dargestellt. Abschnitt **36** schließt eine Vielzahl von lamellenähnlichen Strömungsleitelementen **46** und **48** ein, die dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen **50** und **52** umgrenzen, die sich in gewöhnlich radiale Richtung hinsichtlich der Mittalachse **54** der Düsenbaugruppe **16** erstrecken. Die Elemente **46** und **48** können in Größe und Anordnung so sein, dass die Durchlässe **50**, die zwischen den angrenzenden Elementen **46** umgrenzt werden größer in der Strömungs-Querschnittsfläche sein können als die Durchlässe **52**, die zwischen den angrenzenden Elementen **48** umgrenzt werden. Im Betrieb strömt das Brennstoff-Luftgemisch durch Abschnitt **34** der Röhre **30** in eine Richtung, die gewöhnlich parallel zur Achse **54** liegt. Wenn das Luft-Brennstoffgemisch die Abschlusskappe **38** erreicht, wird es so zurück geleitet, dass es durch die Durchlässe **50** und **52** radial nach außen strömt. In dieser Hinsicht sollte beachtet werden, dass die jeweiligen äußereren Endstellen **46a** und **48a** der Elemente **46** und **48** vorzugsweise weiter von der Achse **54** entfernt sein sollten, als die Außenkante **38a** der Kappe **38**. Das liefert die jeweiligen Öffnungen **50a** und **52a** (siehe **Fig. 5**) an den axialen äußeren Enden der Durchlässe **50** und **52**, die einem daran angrenzenden Teil des brennbaren Luft-Brennstoffgemischs erlauben, leicht abzubiegen und mehr in Richtung Zone **20** als rechtwinklig in Richtung Achse **54** zu strömen.

**[0041]** Besonders bezüglich **Fig. 3** kann man sehen, dass die Elemente **46** und **48** so angeordnet sein können, dass sie jeweils die Gruppen **56** und **58** von Durchlässen **50** und **52** liefern. Wie gezeigt, schließt jede Gruppe **56** fünf Durchlässe **50** ein und jede Gruppe **58** schließt fünf Durchlässe **52** ein. Wie in **Fig. 3** deutlich zu sehen, sind die Durchlässe **50** größer als die Durchlässe **52**, so dass die durch die Durchlässe **50** gelieferten Strömungs-Querschnittsflächen größer sind als die durch die Durchlässe **52** gelieferten Strömungs-Querschnittsflächen. Wie gezeigt sind die Gruppen **56** und **58** an unterschiedlichen Stellen um der Abschnitt **36** herum angeordnet. Man kann ebenfalls sehen, dass in der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform der Abschnitt **36** vier Gruppen **56** und vier Gruppen **58** einschließt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Durchlässe in einer Vielfalt von gleichermaßen akzeptablen Anordnungen angeordnet sein können, abhängig vom gewünschten Design und den gewünschten Betriebsmerkmalen. Die Größen der Durchlässe **52** und **50** können variiert werden, um eine höhere Geschwindigkeit besonders durch die Durchlässe **52** zu ermöglichen. Die höhere Geschwindigkeit durch die Durchlässe **52** im Verhältnis zur Geschwindigkeit durch die Durchlässe **50**, liefert eine höhere Streuung der rückgeführten Abgase.

**[0042]** In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wie besonders in **Fig. 11** und **12** gezeigt, ragt eine mittige, untergeordnete Stufen-Brennstoff-

düse **60** durch eine Öffnung **64** hervor, die in der Abschlusskappe **38** angeordnet ist. Die Düse **60** schließt einen Abschnitt der Gasversorgungsrohre **86** ein, der sich entlang der Achse **54** und durch das Teil **34** erstreckt. Eine Stufen-Brennerdüse **62** ist am stromabwärts liegenden Ende **88** der Röhre **86** befestigt. Die Spitze **62** kann aussehen wie in **Fig. 8A** und **8B** dargestellt, wo man sehen kann, dass dieselbe mit Versorgungsöffnungen **66** ausgestattet ist, die die Strömung des vorzugsweise unbearbeiteten Brennstoffs in die Zone **20** leitet, und zwar in beabstandeter Beziehung hinsichtlich eines Strahlungsverbrennungsbereichs **75**, der sich angrenzend an Fläche **74** in der Zone **20** befindet (siehe **Fig. 1**). Wie in **Fig. 8A** und **8B** gezeigt können die Öffnungen **66** in einem Winkel von ca.  $45^\circ$  bezüglich der Ebene der Kachelfläche angeordnet sein; der benötigte Winkel für jede vorgegebene Einrichtung kann jedoch, abhängig von den gewünschten Betriebs- und Ausführungsmerkmalen des Brenners, abweichen. Nach letzterem Gesichtspunkt ist es wünschenswert, dass der Winkel der Öffnungen **66**, wie in **Fig. 11** schematisch gezeigt, nicht kleiner als  $30^\circ$  ist, um sicher zu stellen, dass ein vorzeitiges Mischen des Stufenbrennstoffs mit einem sauerstoffreichen Gemisch verhindert wird. Ebenso sind Anzahl und Abstand der Öffnungen **66** abhängig von den gewünschten Ausführungsmerkmalen.

**[0043]** In einer anderen Ausführungsform der Erfindung, kann die Düse **60** wie in **Fig. 12**, **13** und **14** gezeigt aussehen, wo der stromabwärts liegende Abschnitt **90** der Röhre **86** jenseits der Abschlusskappe **38** hervorragt, so dass die Spitze **62** in beabstandeter Beziehung hinsichtlich Abschlusskappe **38** positioniert ist. In diesem Fall kann die Baugruppe **16** vorzugsweise eine zylindrische Scheide **92** enthalten, die auf einem Ende der Abschlusskappe **38** befestigt ist, und sich in umschließender Beziehung zu und entlang der gesamten Länge des hervorragenden Abschnitts **90** erstreckt. Entsprechend positionierte Öffnungen **94** können in der Scheide **92** angeordnet sein, um der Gesamtheit der Spitze **62** zu gestatten, vor der Hitze der Verbrennungszone geschützt zu sein und doch den Ausgang von Stufenbrennstoff von der Spitze **62** zu erlauben.

**[0044]** Wie in **Fig. 12** gezeigt hat die Scheide **92** auch ein offenes Ende **96**, das geeignet ist, die Scheide **92** zu entlüften, indem den Gasen gestattet wird zwischen der Scheide **92** und der Röhre **86** in die Verbrennungszone zu entweichen. Alternativ kann die Anordnung wie in **Fig. 13** und **14** gezeigt aussehen, wo das Ende der Scheide **92** durch eine flache (**Fig. 13**) oder gewölbte (**Fig. 14**) Kappe abgeschlossen wird. In diesem Fall können entsprechende Entlüftungslöcher **99** in der Wand der Scheide **92** angeordnet sein. Diese Entlüftungslöcher **99** dienen im Wesentlichen dem selben Zweck wie das offene Ende **96**, aber wie gezeigt können dieselben vor-

zugsweise in einem stromabwärts geneigten Winkel von ca. 10° hinsichtlich der Ebene, die senkrecht zu der Längsachse der Scheide **92** liegt, angeordnet sein. Es ist wünschenswert, dass die Düse **60** wie in **Fig. 5** gezeigt auch mit einer Austrittsöffnung **68** ausgestattet ist, um die Brennstoffmenge zu steuern, die über Düse **60** in die Verbrennungszone strömt.

**[0045]** Nach den Konzepten und Grundsätzen der Erfindung, ist es wünschenswert, dass die Spitze **62** weit genug von der Vormisch-Austrittsdüse **18** positioniert sein kann, so dass die Strömungsverhalten der sauerstoffreichen und radial bewegten Verbrennungsgase, im Strahlungs-Verbrennungsbereich **75** und der Stufen-Brennstoff der durch Düse **60** eingespritzt wird mechanisch entkoppelt sind, um so das Verbrennen von Stufen-Brennstoff in sauerstoffreicher Umgebung zu verhindern. Deshalb ist der Stufen-Gasstrahl, der die Düse **60** verlässt, weit genug entfernt von der Vormisch-Strömungs-Hülle, so dass der Impuls des Strahls nicht ausreicht, das Stufengas und das Vormisch-Gas/Luftgemisch zu vermischen, zumindest bis der Brennstoff von Düse **60** die Gelegenheit hatte, mit dem Abgas gemischt zu werden. Das ist außerordentlich wichtig, besonders unter Berücksichtigung in Verbindung mit dem ultramageren Konzept des Primär-Luft/Brennstoffgemischs, wo die große Menge Luftüberschuss, die nach der Verbrennung in dem Strahlungs-Verbrennungsbereich **75** übrig bleibt bedeutungsvoll genug ist, eine örtlich begrenzte Verbrennung zu bewirken, die auf der Spitze der Stufen-Steigleitung beginnt und auf diese Weise die NO<sub>x</sub>-Emissionen erhöht. Es ist wünschenswert, dass für die besten Ergebnisse in der NO<sub>x</sub>-Vermeidung, der Stufenbrennstoff in einer Atmosphäre verbrannt werden sollte, die nicht mehr als ca. 4 Volumenprozente Sauerstoff enthält.

**[0046]** Bezuglich **Fig. 9** und **10**, ist es für einige wichtige Einsatzbereiche, die die Konzepte und Grundsätze der Erfindung nutzen, wünschenswert, dass der Innendurchmesser der Öffnung **14** größer ist als der Außendurchmesser von Röhrenabschnitt **34**, so dass die Sekundär-Verbrennungsluft durch den ringförmigen Raum zwischen der Öffnung **14** und dem zylindrischen Bereich **34** in die Zone **20** strömen kann. Nach der Erfindung, diesem Gesichtspunkt der Erfindung und wie in **Fig. 9** und **10** gezeigt, können zur Ermöglichung und Verbesserung der Sekundärluft-Strömung Sekundärluft-Kanäle **70** bereitgestellt werden. Ein Ende **72** von Kanal **70** ist auf der Fläche **74** der Kachel **12** in Verbindung mit der Zone **20**. Das andere Ende **76** von Kanal **70** ist in Verbindung mit der Öffnung **14**. Wie aus **Fig. 10** ersichtlich ist, besitzt das Ende **72** eine Bogenform, so dass dasselbe eine fächerförmige Luftströmung in Zone **20** projiziert. Das Ende **76** hat ebenfalls eine Bogenform und hat im Allgemeinen eine Schlitzform, die sich entlang der Innenfläche **78** der Öffnung **14** erstreckt. Nach der Erfindung kann die Fläche **74** der Kachel **12** nach innen

gekrümmt oder flach sein. Die Innenkrümmung kann die Rückführung des Abgases in die Schale ermöglichen.

**[0047]** Beim Betrieb eines Brenners, der die in **Fig. 9** und **10** dargestellte Kachel beinhaltet, verlässt das magere Brennstoff/Luftgemisch die Durchlässe **50** und **52** und verläuft radial der Achse **54** nach außen und gewöhnlich quer über die Fläche **74** der Kachel **12**, wo es angrenzend an Fläche **74** in einem Strahlungs-Verbrennungsbereich **75** verbrannt wird. Die Verbrennungsprodukte des Brennstoff/Luftgemischs vermischen sich eventuell mit dem unverarbeiteten Brennstoff von Düse **60**. In vielen Ausführungsformen der Erfindung kann die Mischung brennstoffreich sein, und nach der Verbrennung kann dieselbe eine sich gewöhnlich seitlich erstreckende Flamme liefern, die einen peripheren äußeren Endpunkt an der radialen Begrenzungsfläche des Bereichs **75** besitzt, wobei die Begrenzungsfläche radial von der Achse beabstandet ist. Vorzugsweise kann das Ende **72** von Kanal **70** so positioniert sein, dass es einen fächerförmigen Luftstrom am äußeren peripheren Endpunkt der sich seitlich erstreckenden Flamme, an die Flamme liefert.

**[0048]** Eine Ausführungsform der Düse der Erfindung, die ein internes Leitblech **84** einschließt, wird in **Fig. 6** gezeigt. Das Leitblech **84** hat gewöhnlich die Form eines umgekehrten Kegels und dasselbe ist zur Rückführung der Strömung des Luft/Brennstoff Gemischs unter Durchquerung der Röhre **40** positioniert. Das brennbare Gemisch läuft entlang der Röhre **40** in gewöhnlich axiale Richtung weiter, bis es auf das Leitblech **84** trifft, das die Strömung zurückführt, so dass er sich in gewöhnlich radiale Richtung bewegt. In **Fig. 6** wird das Leitblech in Kombination mit einer Düsenanordnung gezeigt, die eine mittig angeordnete Düse **60** für unverarbeiteten Brennstoff einschließt. Es wird jedoch von jemandem mit einfacher Qualifikation erkannt, dass das interne Leitblech, ungeachtet der Anwesenheit oder Abwesenheit der mittigen Düse sehr nützlich sein wird.

## BEISPIEL

**[0049]** Ein Brenner der die Konzepte und Grundsätze der Erfindung verkörpert wurde wie folgt betrieben: der Brenner wird mit 185 kWh (0,03 MMBtu) befeuert; der Luftüberschuss beträgt 10%; die Feuerungstemperatur liegt bei 1000°C (1800°F); der Brenner-Differenzdruck liegt bei 0,62 mbar (0,25 Inch Wassersäule); die Drosselklappen des Primär- und des Sekundärbrenners sind vollständig geöffnet; das brennbare Gas besteht zu 50% aus Erdgas und zu 50% aus Wasserstoff; der Brenner liegt fluchtend mit einer hohen Außenkante der Kachel und wird dann 0,64 mm (0,25 Inch) angehoben. Die gemessenen Ergebnisse bei Verwendung eines einzelnen Brenners: 2,5% O<sub>2</sub>; 0 ppm CO; und 8 bis 10 ppm NO<sub>x</sub>. Die

gemessenen Ergebnisse bei Verwendung von 13 Brennern in einer Anordnung: 2,5% O<sub>2</sub>; 0 ppm CO; und 15 bis 19 ppm NO<sub>x</sub>.

**[0050]** Als ein Ergebnis des Versuchs wurde beobachtet, dass mit tieferer Abstufung der Luft durch die Kachel, die NO<sub>x</sub>-Emissionen um einen bedeutenden Prozentsatz der Gesamtemissionen nach unten gedrückt werden konnten.

**[0051]** Die oben beschriebenen Vorteile, die durch die Erfindung geliefert werden schließen folgendes ein: wenig NO<sub>x</sub>, geringes Geräusch, partielle Vormischung mit einem fetten axial gestuften Gasstrom zur Erreichung niedriger NO<sub>x</sub> Werte, sofortige NO<sub>x</sub>-Verminderung mit brennstoffinduzierter Feuerungsgasrückführung, geringer Flammenquerschnitt, Hochdruckverwendung beim Runterregeln für Strahlstabilität, hohe Stabilität, Betrieb mit flacher oder hohler Kachelfläche, die Möglichkeit der Veränderung des Breite/Tiefe-Verhältnisses zur festgelegten Verbrennung der Vormischung aus Brennstoff und Luft, die Stufen-Luft-Kachel verringert ferner die NO<sub>x</sub>-Bildung durch die Stufen-Luft-Technologie, das Stufen-Gas wird zur verlangsamten Verbrennung von der Feuerungswand weggeleitet, und eine Sekundär-Stufen-Luft ist integraler Bestandteil der Kachel, so dass kein Luftüberschuss am Sockel der Vormischdüse benötigt wird.

**[0052]** Der Brenner der Erfindung ist ein Brenner in Vormisch-Ausführung. Der Brenner kann auch eine Venturi-Röhre einschließen, die vorzugsweise ausreichend optimiert ist, um eine extrem magere Brennstoff-Vormischung aus Luft und Brennstoff an die Hauptaustrittsdüse des Brenners zu liefern. Die Austrittsdüse kann so ausgeführt sein, dass ihre Schlitze ein ausreichendes L/D-Verhältnis (Breite zu Tiefe) besitzen, um jeden einzelnen Vormischstrahl als festgelegte einzelne Flammenhülle aufrechtzuerhalten. Das erlaubt dem ursprünglichen Rückführungsverhalten der Kachel und der Feuerung, Feuerungsabgas in jeden Strom einzuspritzen. Das ist ein Faktor in der NO<sub>x</sub>-Reduzierung.

**[0053]** Die Austrittsdüse kann in acht Abschnitten ausgeführt sein, vier (4) mit hohem Durchfluss und vier (4) mit geringerem Durchfluss. Da das Gewebe zwischen allen Abschnitten proportional ist, ist die Abgasrückführung in den eng eingegrenzten Bereichen ausgeprägter. Die Bereichsschwankung gewährleistet Stabilität in den Bereichen mit größerem Durchfluss, während die kleineren Bereiche infolge des kleineren Maßes durch Streuung einem höheren Prozentsatz an Abgas unterworfen sind.

**[0054]** Wie oben beschrieben kann eine mittige Steigleitung **60** durch die Brennerröhre **34** eingesetzt werden, die vorzugsweise eine Venturi-Röhre sein kann, so dass die Steigleitung durch die Endplatte **38**

der Austrittsdüse **36** hervorragt. Die Sekundär- oder Stufendüse **60** wird bei einem Druck von ca. 0,7 bar (10 psig) mit reinem (nicht vorgemischtem) Gasbrennstoff beschickt. Das Gas wird dann auf dem Weg über eine Stufendüse **62** getrieben, die so ausgeführt ist, dass sie den hohen Feuerungstemperaturen standhalten kann und anschließend brennt. Es ist wünschenswert, dass diese Düse **62** ein ausreichendes Breite/Tiefe-Verhältnis liefert, um zu garantieren, dass das Gas in einem erforderlichen Winkel geleitet werden kann, um das Gas fern von der Hitze der Feuerungswand in einer stabilen Weise zu oxidieren. Das garantiert, dass der Verbrennungsprozess behindert wird, aber nicht genug um nennenswerte Mengen von CO einzuleiten.

**[0055]** Der Düsendruck wird durch die integrale Austrittsöffnung **68** aufrechterhalten, die sich auf der Linie von dem Hauptgas-Passteil zu der Stufendüse befindet. Die Austrittsdüse **36** und die Stufendüse **62** wirken zusammen im Strömungsverhalten, das durch die offenen Schlitze in der Austrittsdüse **36** erzeugt wird, um eine geeignete Stufung des unverarbeiteten Brennstoffs zu garantieren, und die anschließende Rückführung von CO und CO<sub>2</sub>, die zur Verringerung von NO<sub>x</sub> gebildet wurden, unterstützen in dem Primär-Vormisch-Abschnitt die Flamme.

**[0056]** Ein anderer Gesichtspunkt des Brenners der Erfindung, ist die Fähigkeit eine wirkliche, abgestufte Luft-Kachel-Anordnung zu nutzen, wodurch die Sekundärluft in dem Vormischabschnitt der Flamme an ihrer peripheren Spitze gemischt wird. Das NO<sub>x</sub> kann ferner durch den Mischmechanismus dieser Sekundärluft-Kachel verhindert werden, da sie die Luft nach außen abstuft, anstelle der Sekundärluft zu erlauben, mit dem Sockel der Vormisch-Flammenhülle in Kontakt zu kommen.

**[0057]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und wie in **Fig. 15**, **16** und **17** dargestellt, kann der Brenner mit einem oder mehreren, vorzugsweise verschiedenen und idealer Weise acht oder mehr sich radial erstreckenden Anschlüssen **100** in der Wand der mittig angeordneten Röhre **34** ausgestattet sein, die einen Kanal bereitstellt zur Belieferung der Brennerdüse mit zentralem Luft/Brennstoffgemisch. Diese Anschlüsse **100** stehen in Verbindung mit dem Zwischenraum **102**, der die Röhre **34** umgibt, wodurch ein Teil des Luft/Brennstoffgemischs durch die Anschlüsse **100** strömt und mit der Sekundärluft gemischt wird, die entlang der Außenseite der Röhre **34** in Richtung Verbrennungszone **20** strömt. Die so gebildete Mischung kann gewöhnlich zu mager sein, um eine herkömmliche Flamme zu unterstützen; eine Niedrigtemperatur-Oxidation hiervon tritt jedoch auf der Fläche **174** der Brennerkachel **104** auf, wodurch die NO<sub>x</sub>-Emissionen minimiert werden.

**[0058]** Nach einer besonders bevorzugten, oben beschriebenen Form der Erfindung, wo die Anschlüsse **100** in Verbindung mit einem Strahlungsbrenner benutzt werden, der eine hohle Kachel **104** besitzt, sind die Anschlüsse **100** als eine Vorstufung eines Teils der Luft- und Brennstoffvormischung vorgesehen, was zu einer verringerten Düsengeschwindigkeit durch die Austrittsdüse **36** führt, wobei die Stabilität und die Minimierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen verbessert werden. Die hohle Kachel **104** ermöglicht die Platzierung der Anschlüsse **100** an einer Stelle ca. 7,6 cm (3 ganze Inch) stromaufwärts von der Austrittsdüse **36** wodurch, wie in **Fig. 17** gezeigt, das schon magere Luft/Brennstoffgemisch **152** von der mittigen Röhre **34** durch die Anschlüsse **100** entweicht und fähig ist, gründlich mit der Sekundärluft vermischt zu werden, die in Richtung der Pfeile **154** entlang der Außenseite der Röhre **34** strömt, um ein ultramageres Gemisch zu bilden, genau bevor das Letztere die Fläche **174** der Kachel erreicht. Dieses ultramagere Gemisch durchläuft eine Niedrigtemperatur-Oxidation ohne herkömmliche Flamme auf der Fläche der Kachel. Die Produkte dieser Niedrigtemperatur-Oxidation werden dann in die Hauptflamme **150** mitgerissen, die an der Austrittsdüse **36** gebildet wird, und liefern eine abschreckende, abkühlende Wirkung, um dadurch das NO<sub>x</sub> in der Hauptflamme zu reduzieren. Die Gesamtwirkung in einer Reduzierung der NO<sub>x</sub> Emissionen liefert einen Wert von deutlich unter 10 ppm auf Volumenbasis (ppmv). Nach den Grundsätzen und Konzepten der vorliegenden Erfindung können beständig NO<sub>x</sub>-Emissionen unterhalb von 5 ppmv erreicht werden.

**[0059]** Die Merkmale dieser Form der Erfindung schließen folgendes ein: 1.) niedrige NO<sub>x</sub> Emissionen mit Stufenbrennstoff; 2.) flammenlose Verbrennung gekoppelt mit schneller Oxidation in der Nähe der Kachel; 3.) ein geringes Geräusch als eine Funktion des Düsendrucks und der Wärmeabgabe; 4.) Stufengasstrahlen reißen externe Abgase mit in den Brenner; 5.) sofortige NO<sub>x</sub>-Verminderung; 6.) Sekundärluft hat wenig Wirkung auf die NO<sub>x</sub> Emissionen; 7.) kleiner Flammenquerschnitt; 8.) hohe Werte beim Runterregeln mit zusätzlicher Vormischdüsengeschwindigkeit; 9.) hohe Stabilität; 10.) Minimierung der CO-Emissionen; 11.) sehr magere Vormischzone; 12.) Oxidation an der Strahlungskachel mit einem Stöchiometriewert unterhalb der unteren Explosionsgrenze (kalte Verbrennung); und 13.) drei getrennte Fluid-Strömungszonen, die verschiedene Stöchiometriewerte für Gas und Luft enthalten.

**[0060]** Wie in **Fig. 16** gezeigt ist es wünschenswert, dass die Öffnungen **100** zur Leitung eines Teils des primären Luft/Brennstoffgemischs an der Außenseite der Brennerröhre **34** in die Strömung der Sekundärluft um dadurch ein ultramagere Gemisch aus Luft und Brennstoff zu erzeugen, in Verbindung mit folgenden Elementen verwendet werden: eine Brenner-

düse, die Strömungsleitelemente wie die Leitelemente **46** und **48** einschließt, eine mittige Düse, wie die Düse **60** und ein internes Leitblech, wie das Leitblech **84**.

**[0061]** Allgemein können nach den Konzepten und Grundsätzen der in **Fig. 15, 16** und **17** dargestellten Konfiguration, durch das Vorstufen eines Volumens eines ultramageren vorgemischten Luft- und Brennstoffgases, in Verbindung mit einem Vormischbrenner und einer brennstofffreien Stufendüse, ultraniedrige NO<sub>x</sub>-Emissionen erreicht werden, in Verbindung mit einer Kachel, die so ausgeführt ist, dass sie eine flammenlose Verbrennung der vorgestuften ultramageren Mischung ermöglicht, während die Trennung der Letzteren von der Hauptflamme aufrechterhalten wird, bis eine geeignete Produktmischung erreicht wird, um die Hauptflamme zu mindern und zu kühlen, und die Emissionen darin zu verringern.

**[0062]** In dem Brenner von **Fig. 15, 16** und **17**, wird sobald ein Anteil des Brennstoffes im Bereich von ca. 15% des Gesamtbrennstoffes mit Luft gemischt wurde, ein kleiner Teil der Mischung vor der Hauptdüse entfernt und in einen Sekundärluftstrom zurückgeleitet. Im Fall eines Strahlungswandbrenners wird die Vormischung mittels der Durchlässe (radial gebohrte Öffnungen) **100**, die rund um das Brennergehäuse vor der Düse positioniert sind, durch die mittige Röhre **34** entfernt, die die Form einer Venturi-Röhre haben kann. In einer anderen Konfiguration kann die Vormischung mit rückgeföhrt Abgas gemischt sein, das durch die Kachel unter Verwendung spezieller Anschlüsse portiert wird. Das erzeugt ein Gemisch, das unterhalb der Zündgrenzen liegt und unfähig ist eine Verbrennung aufrecht zu erhalten. Dieser Strom muss dann den stark strahlenden Kachelabschnitt durchlaufen, der fähig ist, die Kinetik des Gases zu beschleunigen und eine schnelle Oxidation des Brennstoffes sogar unterhalb der Zündgrenzen zu bewirken. Sobald die wesentliche, wenn auch nicht vollständige, Oxidation stattgefunden hat, wird dieser Strom dann mit der Hauptvormischung aus Luft- und Gasstrom vermischt, die die Hauptbrennerdüse verlässt und sich genau innerhalb ihrer Zündgrenzen befindet. Der Hauptvormischstrom erhält und stabilisiert die Verbrennung. Der oxidierte Strom hat eine lösrende Wirkung auf die Hauptflamme, und verringert ihre theoretische Temperatur durch Aufbringen einer Wärmebelastung auf die Flamme mittels zusätzlicher Masse.

**[0063]** Außerdem wird eine Sekundärabstufung aus reinem Brennstoffgas auch durch die Sekundärdüse **60**, stromabwärts von der Haupt-Brenner-Vormisch-Austrittsdüse eingebracht. Der Sekundärbrennstoff wird ferner in die Feuerung eingebracht und verwendet die kinetische Energie seiner Schallwellen, um Feuerungsabgas in erheblichen Mengen mitzureißen und zu mischen, bevor er durch einen

Impuls der Hauptflamme und die Kraft rückgeföhrter Feuerungsgase in die Hauptflamme zurück gezogen wird. Das hat auch eine lösrende Wirkung auf die Hauptflamme und dient dazu, die Zündgrenzen der Gesamtmasse in einen brennbaren Bereich zu bringen. Die stabilisierende Wirkung der feuerfesten Materialien hilft eine stabile Flammenhülle während des Runterregelns und niedriger Sauerstoffbedingungen, die innerhalb der Feuerung während Betriebsausfällen beobachtet wurden, aufrecht zu erhalten.

**[0064]** Es ist wichtig anzumerken, dass die in Verbindung mit **Fig. 15, 16 und 17** beschriebene Vormisch-Vorstuf-Technik NO<sub>x</sub> Reduzierungen liefert, die das was schon in einem Ultralow-NO<sub>x</sub>-Brenner erreicht wurde, ungefähr halbiert. In dieser Hinsicht sollte angemerkt werden, dass das Vormisch-Vorstuf-Konzept, ermöglicht durch die Bohrungen 100, im Wesentlichen ausgedehnt werden kann auf den Gebrauch mit jeder Brennerform und/oder Aufbaustruktur. Mit anderen Worten, die Vormisch-Vorstuf-Technik kann im Wesentlichen auf alle Brenneinsatzgebiete ausgedehnt werden. Deshalb kann dieses Konzept zur Erzeugung sehr niedriger NO<sub>x</sub>-Werte um die Flamme herum verwendet werden bei von oben oder seitwärts befeuerten Brennern, genauso wie bei rechtwinkligen Flachflammenbrennern und von unten befeuerten Brennern. Das Konzept kann auch in Diffusionsflammenbrennern und vollwertigen Vormischbrennern angewendet werden.

**[0065]** Der Verwendung eines mageren Primär-Luft/Brennstoffgemisches, angereichert durch eine flammenlose Verbrennungszone innerhalb der Kachel, die in der Nähe der Hauptflamme angeordnet ist, plus ein wesentlicher Stufenabschnitt des Gases in brennstoffreicher Form, der anschließend an die Hauptflamme zurückgeführt wird durch Entreißen und Impuls über eine Düse, wie die Düse **60**, um eine Reduzierung der theoretischen Temperatur durch zusätzliche Masse zu liefern, ist ein sehr wichtiges Merkmal der Erfindung.

**[0066]** Insgesamt ist die Erfindung so anpassbar, dass sie verschiedenen Brenner-Familien, im Bereich von Strahlungswandbrennern bis zu horizontal, von oben und sogar von unten befeuerten Brennerausführungen mit der Fähigkeit ausstattet, NO<sub>x</sub> Emissionen zu liefern, die deutlich unterhalb denen gängiger Brennertechnologien liegen.

**[0067]** In einer anderen Konfiguration nach den Konzepten und Grundsätzen der Erfindung kann die portierte Düsenanordnung in Verbindung mit einer speziellen portierten Version einer Kachel verwendet werden, die geeignet ist, Abgas zurück zu führen, das dann anstelle von Sekundärluft verwendet werden kann, um das portierte primäre Luft/Brennstoffgemisch abzuschwächen. Solch eine Anordnung kann

auch verwendet werden um eine magere Vormischung hinter der Kachel zu liefern und aufrechtzuerhalten, die garantiert, dass eine Verbrennung, die für die Brennerdüse schädlich sein könnte, nicht statt findet. Der Nebeneffekt davon ist die Erschwerung der Flamme, die hilft die theoretische Temperatur der Flamme vielmehr als allgemein in Brennerausführungen gesehen, zu reduzieren. Die flammenlose Verbrennungszone kann gesteuert werden und von der Hauptflamme getrennt werden, bis das meiste der anfänglichen Oxidation komplett ist.

**[0068]** Die Konzepte und Grundsätze der vorliegenden Erfindung fügen eine neue Wendung zu einer bereits entwickelten Technologie hinzu. Die Erzeugung einer flammenlosen Verbrennungszone (mager vormischt), gekoppelt mit speziellen Kachelausführungen zur Steuerung und Stabilisierung des Verbrennungsprozesses arbeiten zusammen, um niedrige NO<sub>x</sub>-Emissionen zu liefern, ohne die Verwendung von Abgasrückführung und/oder anderer Reduzierungsmethoden zur Verminderung der Flammentemperatur.

**[0069]** Die Brenner von **Fig. 15, 16 und 17** liefern einstellige NO<sub>x</sub>-Werte, wobei bedacht werden sollte: „innerhalb der Bauteile, die üblicherweise in einem herkömmlichen Brenner enthalten sind“. Durch Hinzufügen der flammenlosen Verbrennungszone hinter der Hauptflamme wurde ein neuer Weg beschritten in der Behandlung dessen, was als „Ziel NO<sub>x</sub>-Betriebszustand“ in der NO<sub>x</sub> Produktion betrachtet wird.

**[0070]** Die Kombination all dieser verschiedenen Gesichtspunkte der Erfindung erlaubt dem Brenner der Erfindung, NO<sub>x</sub>-Emissionen im einstelligen bis mittleren Zehnerbereich (ppm) zu liefern, abhängig von der Anzahl von Brennern in einer Anordnung und der Art und den Konzentrationen der Arten im Brennstoffgemisch. Nach der Erfindung wurde deshalb entdeckt, dass es möglich ist, viele bekannte Theorien zur NO<sub>x</sub>-Senkung in einem einzelnen Brenner zu kombinieren, der stabile Betriebsbedingungen und geeignetes Runterregeln während der Arbeit unterstützt, in einem Bereich, der bisher nicht für möglich gehalten wurde. Nach der Erfindung sind geringere Flammenmuster möglich, besonders wenn der Brennstoff schwere Kohlenwasserstoffe enthält; größere Regelbereiche sind möglich bei hohen Wasserdampfbrenngasanteilen, besonders wenn ein internes Leitblech verwendet wird; ein viel geringeres Geräusch wurde rund um einen Brenner mit Mehrfachanschlüssen und kleinen Düsen wahrgenommen entweder hohle oder flache Kacheln können abwechselnd verwendet werden; Stufen-Luft-Kachelausführungen ermöglichen die NO<sub>x</sub>-Einstellung im laufenden Betrieb; Brennereinstellfähigkeiten in der Kachel ermöglichen die NO<sub>x</sub> Einstellung; Düsen werden durch die Bauform leicht ausgebaut und gewartet; und die Richtung der Stufenstrahlen beim Runterregeln hilft

die Primärlamme zu stabilisieren.

### Patentansprüche

1. Brennerdüsenanordnung für einen Strahlungsbrenner mit niedriger NO<sub>x</sub>-Emission, die eine längliche hohle Brennerröhre (30), eine Austrittsdüse (18) und eine mittige Stufen-Brennstoffdüse (60) enthält, wobei die Brennerröhre eine mittige, in Längsrichtung verlaufende Achse (54) hat und eine Leitung aufweist, die sich entlang der Achse erstreckt, um einem Strahlungs-Verbrennungsbereich (75) in einer Verbrennungszone (20), der die Austrittsdüse umgibt, ein Gemisch aus Brennstoff und Luft zuzuführen, wobei die Austrittsdüse (18) an der Röhre (30) an einem stromabliegenden Ende der Leitung an den Bereich angrenzend angebracht und so eingerichtet ist, dass sie das Gemisch aus Brennstoff und Luft aus der Leitung aufnimmt und dieses in einer im Wesentlichen radialen Richtung relativ zu der Achse in den Bereich leitet, und die Austrittsdüse eine Abschlusskappe (38) enthält, die so positioniert ist, dass sie Strom des Gemischs in einer Richtung entlang der Achse verhindert, wobei die mittige Stufen-Brennstoffdüse (60) umfasst:  
 einen Rohrabschnitt (86), der sich entlang der Achse der Leitung erstreckt; und  
 eine Stufen-Brennerdüsenspitze (62) an einem stromabliegenden Ende des Rohrabschnitts, wobei die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse so angeordnet ist, dass sie axial durch ein Loch in der Abschlusskappe vorsteht,  
 die Spitze (62) ein Brennstoffabgabeloch (66) darin aufweist, das zur Abgabe von Brennstoff an die Zone in beabstandeter Beziehung zu dem Bereich der Zone angeordnet ist, und das Abgabeloch so angeordnet ist, dass es Brenngas in einem nach oben und nach außen gerichteten Winkel relativ zu einer Ebene ausstößt, die senkrecht zu der Achse ist.

2. Brennerdüsenanordnung für einen Strahlungsbrenner mit niedriger NO<sub>x</sub>-Emission, die eine längliche hohle Brennerröhre (30), eine Austrittsdüse (18) und eine mittige Stufen-Brennstoffdüse (60) enthält, wobei die Brennerröhre eine mittige, in Längsrichtung verlaufende Achse (54) hat und eine Leitung aufweist, die sich entlang der Achse erstreckt, um einem Strahlungs-Verbrennungsbereich (75) in einer Verbrennungszone (20), der die Austrittsdüse umgibt, ein Gemisch aus Brennstoff und Luft zuzuführen, wobei die Austrittsdüse (18) an der Röhre (30) an einem stromabliegenden Ende der Leitung an den Bereich angrenzend angebracht und so eingerichtet ist, dass sie das Gemisch aus Kraftstoff und Luft aus der Leitung aufnimmt und dieses in einer im Wesentlichen radialen Richtung relativ zu der Achse in den Bereich leitet, und die Austrittsdüse eine Abschlusskappe (38) enthält, die so positioniert ist, dass sie Strom des Gemischs in einer Richtung entlang der Achse verhindert, wobei die mittige Stu-

fen-Brennstoffdüse (60) umfasst:  
 einen Rohrabschnitt (86), der sich entlang der Achse der Leitung erstreckt; und  
 eine Stufen-Brennerdüsenspitze (62) an einem stromabliegenden Ende des Rohrabschnitts, wobei die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse so angeordnet ist, dass sie axial durch ein Loch in der Abschlusskappe vorsteht,  
 die Spitze (62) Brennstoffabgabeloch (60) darin aufweist, das zur Abgabe von Brennstoff an die Zone in beabstandeter Beziehung zu dem Bereich der Zone angeordnet ist, und das Abgabeloch so angeordnet ist, dass es Brenngas in einer Richtung entlang der Achse ausstößt.

3. Brennerdüsenanordnung mit niedriger NO<sub>x</sub>-Emission nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Austrittsdüse (18) eine Vielzahl von Stromleitelementen (46, 48) umfasst, die in einer Struktur angeordnet sind, die sich in Umfangsrichtung um die Austrittsdüse herum erstreckt, wobei die Elemente so angeordnet sind, dass sie dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen (50, 52) ausbilden, die sich in einer im Allgemeinen radialen Richtung relativ zu der Achse erstrecken, die Abschlusskappe (38) an den Elementen so angebracht ist, dass bewirkt wird, dass das Gemisch in einer im Allgemeinen radialen Richtung durch die Durchlässe strömt, die Abschlusskappe eine Seitenkante (38a) hat, die sich in einem ersten Abstand zu der Achse befindet, und die Elemente (46, 48) jeweils eine Außenkante (46a, 48a) haben, die sich in einem zweiten radialen Abstand zu der Achse befindet, wobei der zweite radiale Abstand größer ist als der erste Abstand, so dass Durchlässe (50, 52), die durch die Elemente des Teils ausgebildet werden, sich radial über die Seitenkante hinaus erstrecken.

4. Brennerdüsenanordnung mit niedriger NO<sub>x</sub>-Emission nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Stufen-Brennstoff-Brennerdüse (60) so angeordnet ist, dass ein stromabliegender Teil (90) des Rohrabschnitts (86) über die Abschlusskappe (38) hinaus vorsteht, so dass die Spitze (62) in beabstandeter Position relativ zu der Abschlusskappe positioniert ist.

5. Brennerdüsenanordnung mit niedriger NO<sub>x</sub>-Emission nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Brennerröhre (30) ein Venturi-Rohr (40) mit einer Kehle umfasst, das mit einer Luftzufluhr und einer Quelle von unter Druck stehendem Brenngas steht, wobei das Venturi-Rohr so angeordnet ist, dass der Strom von Brenngas durch die Kehle einen Strom von Luft von der Quelle auslöst, so dass das Gemisch aus Brennstoff und Luft in der Kehle erzeugt wird und bewirkt wird, dass es auf die Austrittsdüse (18) zuströmt.

6. Strahlungs-Wandbrenner mit niedriger

$\text{NO}_x$ -Emission, der eine Brennerplatte (12) mit einer mittigen Öffnung (14), die von einer Strahlungs-Plattenfläche umgeben ist, und eine längliche Brennerdüsenanordnung (16) mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach einem der Ansprüche 1 bis 5 umfasst, die sich durch die Öffnung hindurch erstreckt.

7. Brenner nach Anspruch 6, wobei die Fläche eine konkave Fläche (74) ist.

8. Brenner nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Austrittsdüse (18) so eingerichtet ist, dass das radial geleitete Gemisch aus Brennstoff und Luft, wenn es gezündet wird, eine sich im Allgemeinen seitlich erstreckende Flamme erzeugt, die sich durch den Bereich (75) über die Fläche erstreckt und einen äußeren Umfangsrand an einer Position in der Zone hat, die radial von der Achse beabstandet ist.

9. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 1, wobei der Winkel wenigstens ungefähr  $30^\circ$  beträgt.

10. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 4, in der eine längliche Schutzhülle (92) enthalten ist, die in umgebender Beziehung zu dem Teil des Rohrabschnitts und der Spitze angeordnet ist.

11. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 10, wobei die Hülle (92) eine oder mehrere Öffnungen (94) enthält, die so eingerichtet sind, dass sie die Hülle entlüften, indem sie Gase zwischen der Hülle und dem Teil des Rohrabschnitts in die Verbrennungszone austreten lassen.

12. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 10, wobei die Hülle (92) eine Öffnung (96) enthält, die auf das Loch ausgerichtet angeordnet ist.

13. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 1, wobei der Winkel ausreicht, um vorzeitiges Mischen des Stufen-Brennstoffs mit einer sauerstoffreichen Umgebung zu verhindern.

14. Brennerdüsenanordnung mit niedriger  $\text{NO}_x$ -Emission nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Brennerröhre eine Außenwand, die die Leitung umgibt, einen Einlass für ein Gemisch aus Brennstoff und Luft hat, der sich am Ende der Brennerröhre gegenüber der Austrittsdüse befindet, sich ein Luftpumldurchlass (162) außerhalb der Außenwand der Brennerröhre befindet, und sich wenigstens ein Kanal (100) durch die Außenwand an einer Position zwischen der Austrittsdüse (18) und dem Einlass erstreckt und die Leitung sowie den Luftpumldurchlass miteinander verbindet.

15. Düsenanordnung nach Anspruch 14, wobei der Luftpumldurchlass (102) ringförmig ist und die Außenwand umgibt.

16. Düsenanordnung nach Anspruch 14 oder 15, wobei der Kanal (100) eine Mittelachse hat, die im Wesentlichen senkrecht zu der mittigen Achse ist.

17. Düsenanordnung nach Anspruch 14 oder 15, wobei der Kanal eine Mittelachse hat, die in einem Winkel relativ zu der mittigen Achse ist.

18. Düsenanordnung nach Anspruch 14 oder 15, die eine Vielzahl von Kanälen (100) umfasst, die sich durch die Wand an entsprechenden Positionen zwischen der Austrittsdüse und dem Einlass erstrecken.

19. Düsenanordnung nach Anspruch 20, wobei die Kanäle (100) in einer oder mehreren Reihen angeordnet sind, die sich um die Außenwand herum erstrecken.

20. Düsenanordnung nach Anspruch 18 oder 19, wobei jeder der Kanäle (100) eine Mittelachse hat, die im Wesentlichen senkrecht zu der mittigen Achse ist.

21. Düsenanordnung nach Anspruch 20, wobei die Mittelachsen in einer gemeinsamen Ebene angeordnet sind, die im Wesentlichen senkrecht zu der mittigen Achse ist.

22. Düsenanordnung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die Position näher an der Austrittsdüse als an dem Einlassende liegt.

23. Düsenanordnung nach Anspruch 21, wobei die gemeinsame Ebene näher an der Austrittsdüse als an dem Einlassende positioniert ist.

24. Düsenanordnung nach einem der Ansprüche 14 bis 23, wobei die Austrittsdüse eine Vielzahl von Stromleitelementen (46, 48), die so angeordnet sind, dass sie dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen (50, 52) ausbilden, die sich in im Allgemeinen radialem Richtungen relativ zu der Achse erstrecken, und eine Abschlusskappe (38) enthält, die an den Elementen an einer Position angebracht ist, durch die wenigstens ein Teil des Gemisches umgeleitet wird, das von dem Ende der Leitung her strömt, und bewirkt wird, dass dieses in einer im Allgemeinen radialem Richtung durch die Durchlässe strömt.

25. Düsenanordnung nach Anspruch 24, wobei die Elemente so angeordnet sind, dass einige der Durchlässe (50) einen größeren Strömungsquerschnitt haben als andere der Durchlässe (52).

26. Düsenanordnung nach Anspruch 24 oder 25, wobei der Luftpumldurchlass (102) ringförmig ist und die

Außenwand umgibt.

27. Düsenanordnung nach Anspruch 26, der eine Vielzahl von Kanälen (**100**) umfasst, die sich durch die Außenwand hindurch erstrecken, und wobei die Kanäle in einer oder mehreren Reihen angeordnet sind, die sich um die Außenwand herum erstrecken.

28. Strahlungs-Wandbrenneranordnung mit niedriger NO<sub>x</sub> Emission, die eine Brennerplatte (**12**) mit einer mittigen Öffnung (**14**) und eine Düsenanordnung nach Anspruch 14 umfasst, wobei die Brennerröhre (**30**) der Düsenanordnung so eingerichtet und angeordnet ist, dass sie sich durch die Mittelloffnung (**14**) hindurch erstreckt.

29. Brenneranordnung nach Anspruch 28, wobei die Austrittsdüse der Düsenanordnung eine Vielzahl von Stromleitelementen (**46, 48**), die so angeordnet sind, dass sie dazwischen eine Vielzahl von Durchlässen (**50, 52**) ausbilden, die sich in im Allgemeinen radialen Richtungen relativ zu der Achse erstrecken, und eine Abschlusskappe (**38**) enthält, die an den Elementen an einer Position angebracht ist, durch die wenigstens ein Teil des Gemisch umgeleitet wird, das von dem Ende der Leitung her strömt, und bewirkt wird, dass dieses in einer im Allgemeinen radialen Richtung durch die Durchlässe strömt.

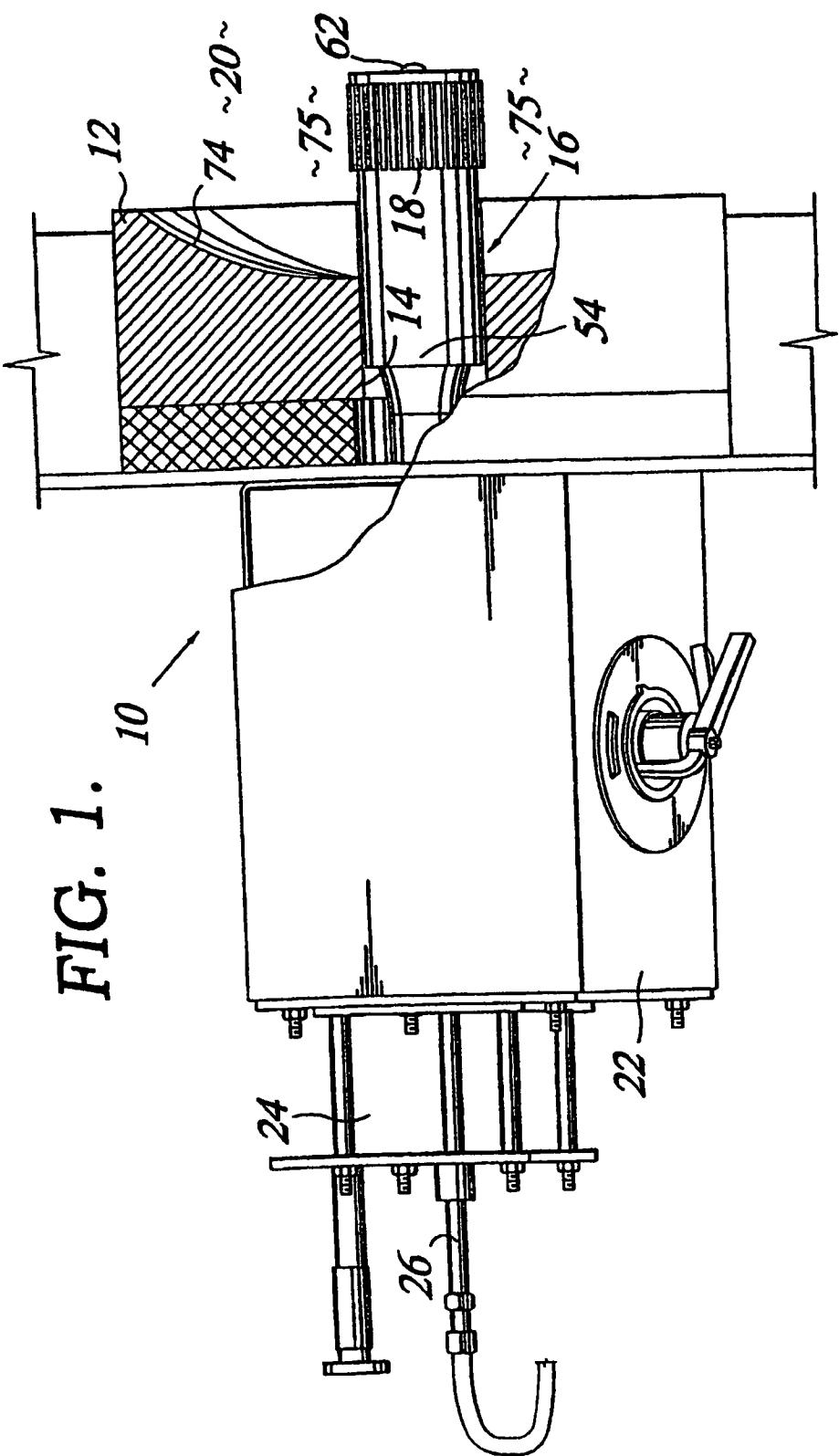
30. Brenneranordnung nach Anspruch 29, wobei die Elemente (**46, 48**) so angeordnet sind, dass einige der Durchlässe (**50**) einen größeren Strömungsquerschnitt haben als andere der Durchlässe (**52**).

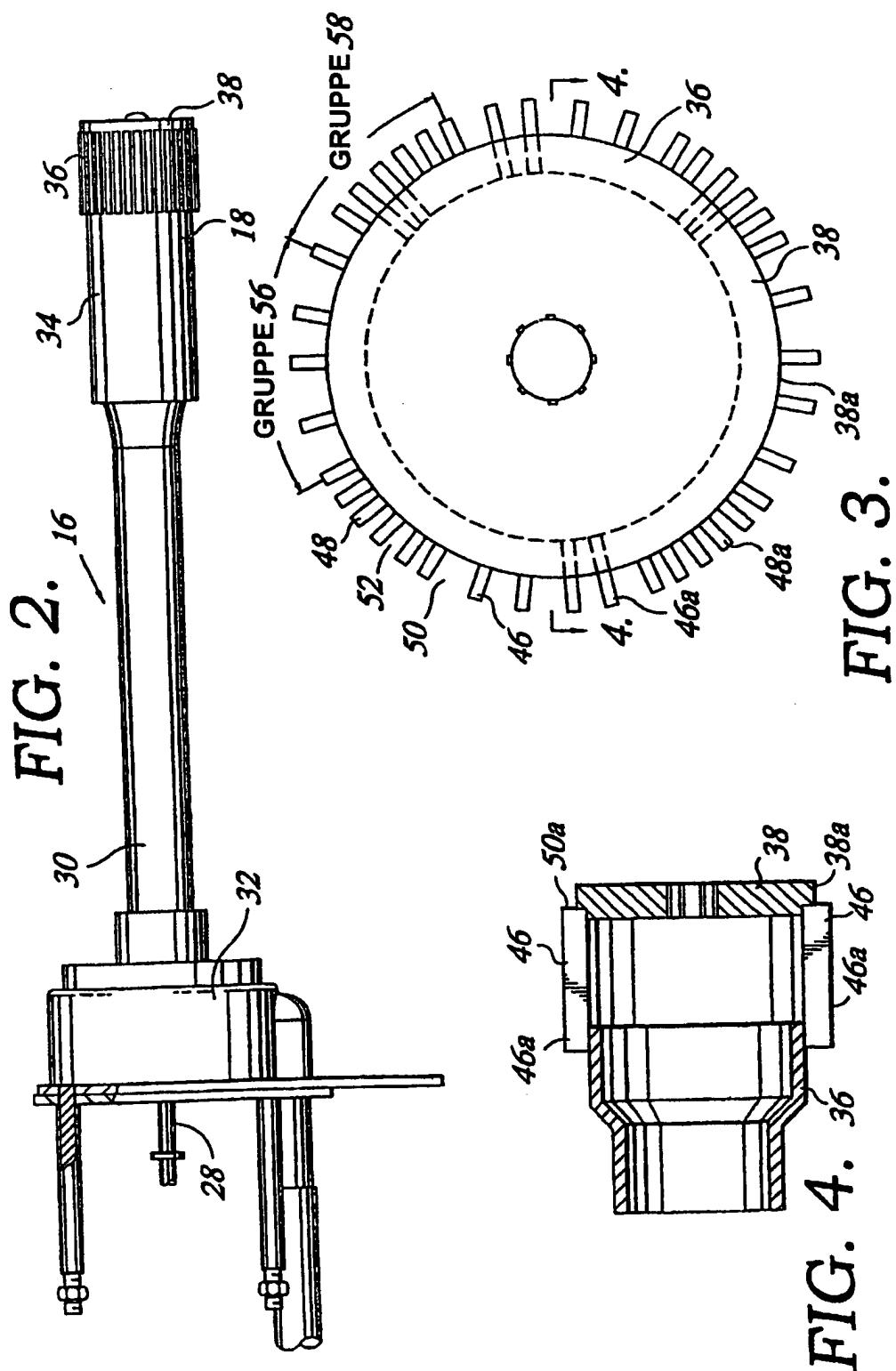
31. Brenneranordnung nach Anspruch 28, 29 oder 30, wobei der Luftdurchlass (**102**) ringförmig ist und die Außenwand umgibt.

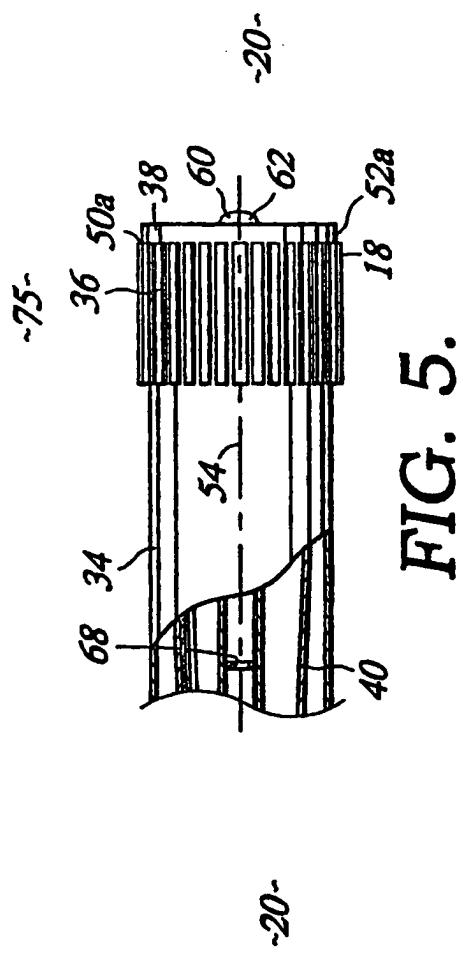
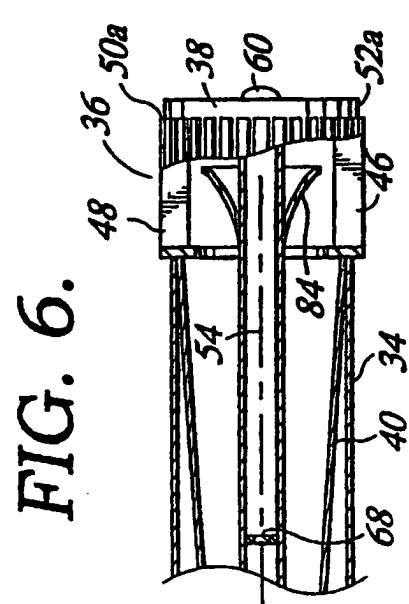
32. Brenneranordnung nach Anspruch 31, die eine Vielzahl von Kanälen (**100**) umfasst, die sich durch die Wand hindurch erstrecken, und wobei die Kanäle in einer oder mehreren Reihen angeordnet sind, die sich um die Wand herum erstrecken.

33. Brenneranordnung nach Anspruch 29 oder 30, wobei die Kanäle (**50, 52**) so angeordnet sind, dass das umgeleitete Gemisch aus Brennstoff und Luft, wenn es gezündet wird, eine sich im Allgemeinen seitlich erstreckende Flamme erzeugt, die einen äußeren Umfangsrund an einer Position in der Zone hat, die radial von der Achse beabstandet ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen







-75-

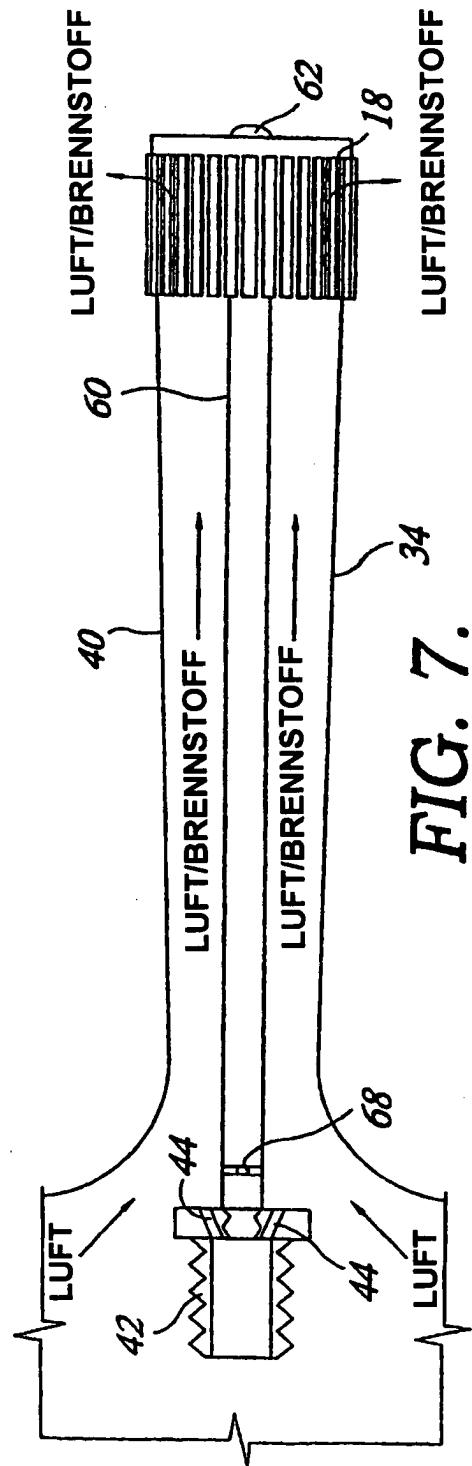


FIG. 8B.

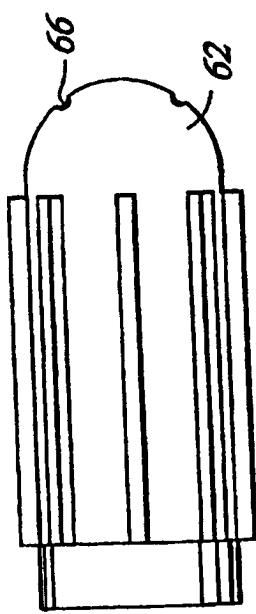


FIG. 8A.

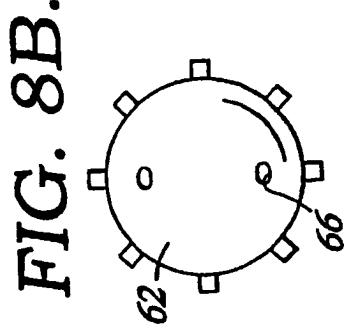


FIG. 10.

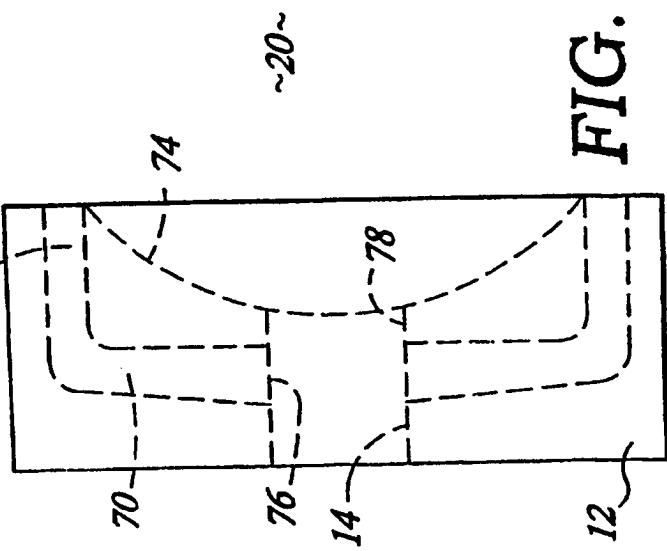
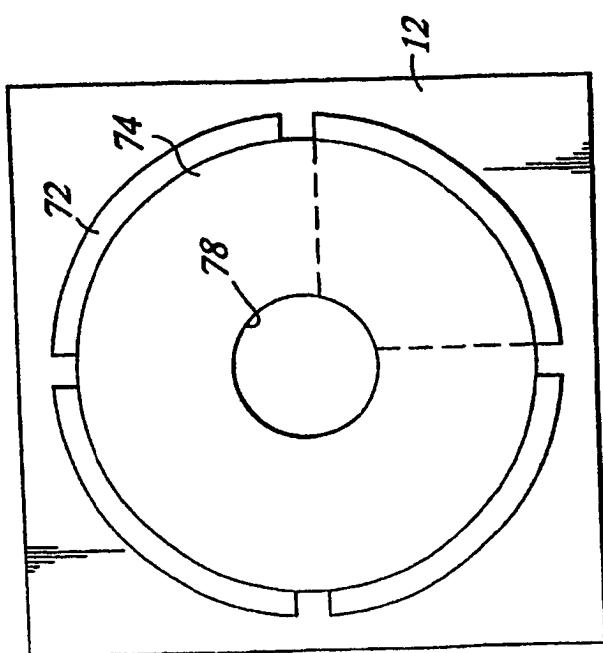


FIG. 9.



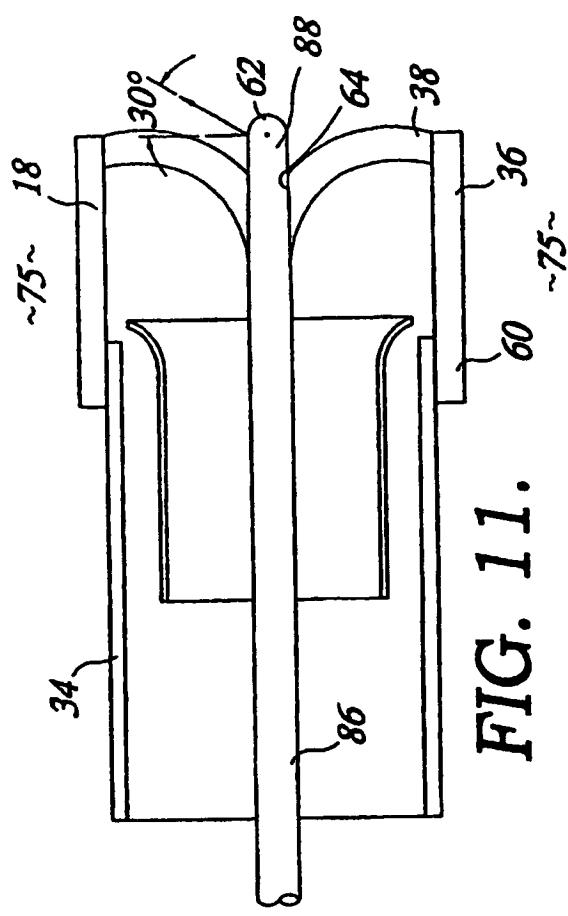
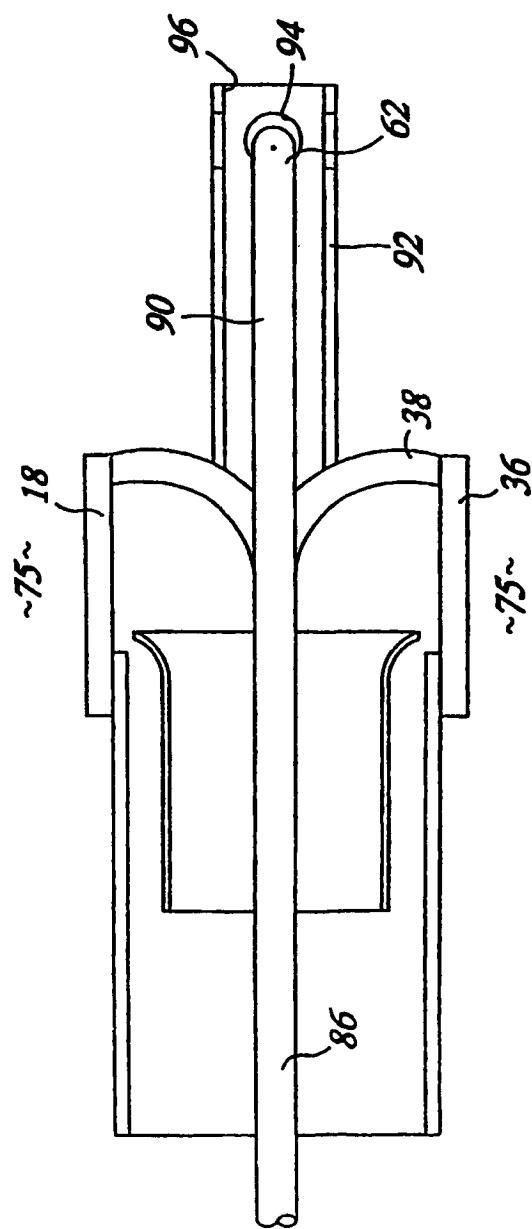
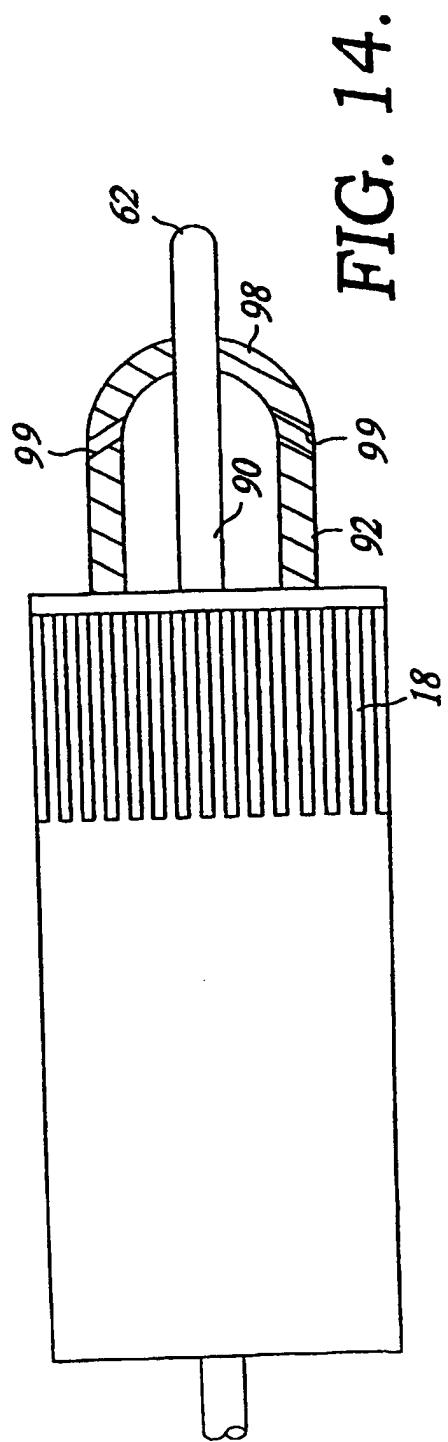
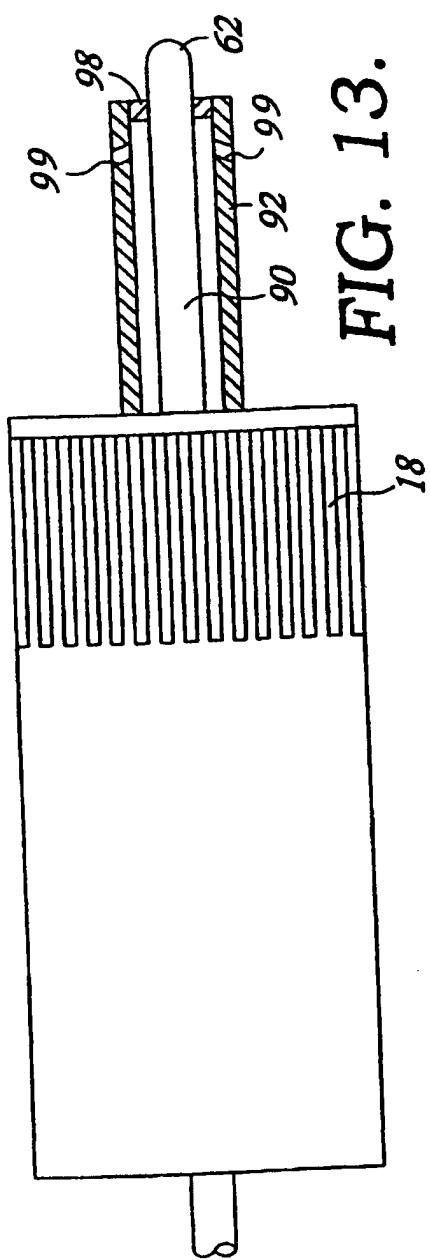


FIG. 12.





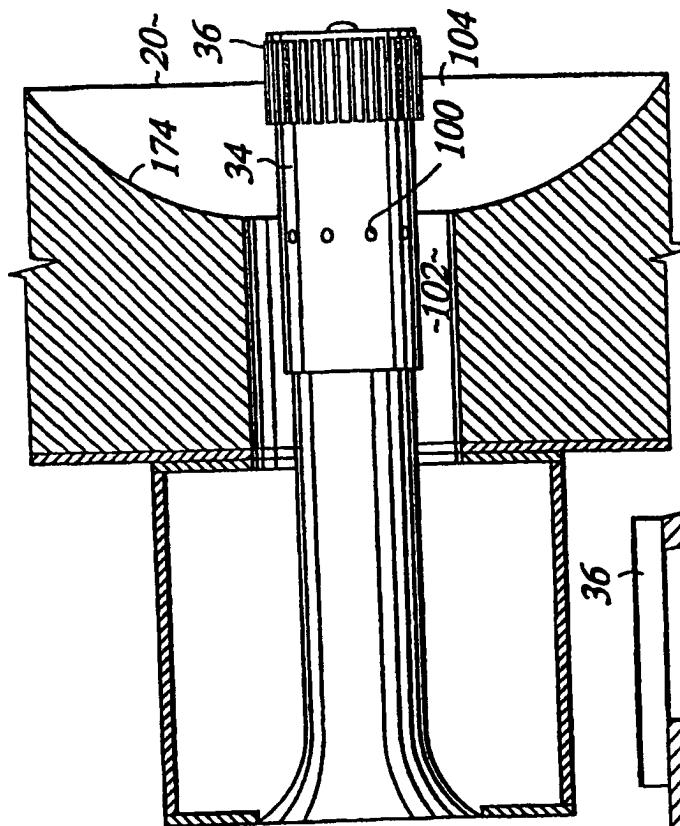


FIG. 15.

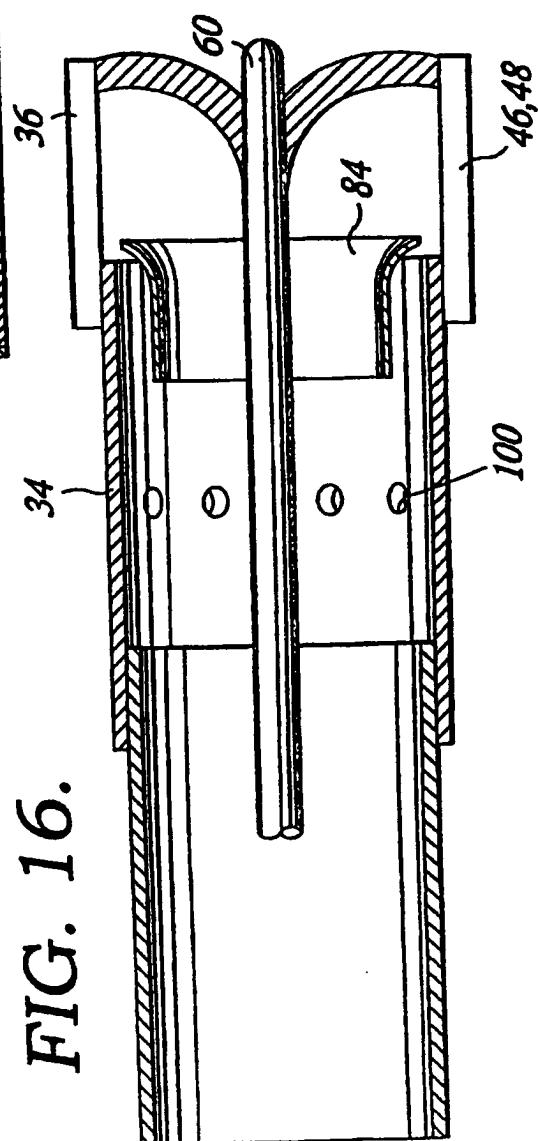


FIG. 16.

FIG. 17.

