



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.01.2010 Patentblatt 2010/02

(51) Int Cl.:
F23D 14/64 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09163782.7**

(22) Anmeldetag: **25.06.2009**

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

(30) Priorität: **09.07.2008 DE 102008032265**

(71) Anmelder:
• **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**
51147 Köln (DE)
• **WS-Wärmeprozess Technik GmbH**
71272 Renningen (DE)

(72) Erfinder:
• **Schütz, Harald**
53773 Hennef (DE)
• **Schmitz, Guido**
53359 Rheinbach (DE)
• **Lammel, Oliver**
93077 Bad Abbach (DE)

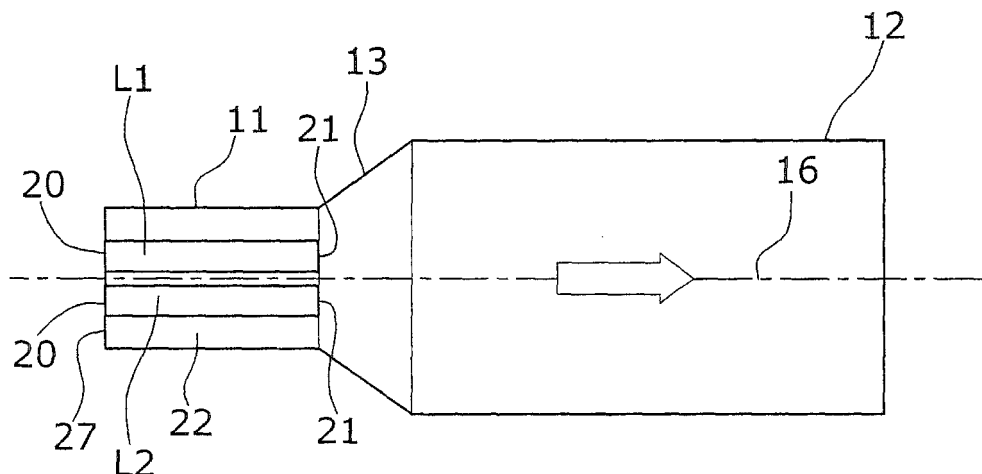
(74) Vertreter: **von Kreisler Selting Werner**
Patentanwälte
Deichmannhaus am Dom
Bahnhofsvorplatz 1
50667 Köln (DE)

(54) **Verbrennungsvorrichtung**

(57) Die Verbrennungsvorrichtung weist einen Brenner (10) mit einem rechteckigen Einlauf (11) und einem sich daran anschließenden runden Mischrohr (12) auf. Der Einlauf enthält mindestens eine Brennstofflanze, die gegenüber der Längsmittlebene (16) exzentrisch bzw. versetzt angeordnet ist. Durch Veränderung der Brenn-

stoffeingabe in die Brennstofflanzen (L1,L2) kann die Flammenfront variiert werden. Dadurch können die CO-Konzentration und die NO-Konzentration durch Beeinflussung der Flammentemperatur verändert werden, ohne dass die Gefahr des Erlöschens der Flamme besteht.

Fig.1b



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Verbrennungsvorrichtung mit mindestens einem Brenner, der einen im wesentlichen rechteckigen Einlauf und ein im wesentlichen rundes Mischrohr aufweist.

[0002] In EP 0 463 218 B1 ist ein Brenner beschrieben, der einen Einlauf mit coaxialen Einlässen für Brennstoff und Luft aufweist. An dem Brenneinlauf schließt sich eine Mischstrecke an, in der Brennstoffe und Luft sich mischen, bevor das Gemisch in eine Brennkammer eintritt. Treibstoff und Luft haben einen solchen Strömungsimpuls, dass eine Verbrennung erst in der Brennkammer stattfindet.

[0003] In der Patentanmeldung DE 10 2007 036 953 (nicht vorveröffentlicht) ist ein Brenner beschrieben, bei dem der Einlauf einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt hat, wobei zwei parallele Wände eine lichte Weite begrenzen. Die Mischstrecke bildet einen runden Kanal, dessen Weite größer ist als die lichte Weite zwischen den parallelen Wänden, so dass in Strömungsrichtung sich erweiternde Übergangsstufen gebildet werden. An den Übergangsstufen entstehen Querströmungen, durch die der Mischvorgang durch Erhöhung des turbulent diffusen Transports sowie der Induktion eines konvektiven Sekundärtransportes verbessert wird. Die Verbrennungsluft wird aus einem Rechteckkanal in einen Kanal mit rundem Querschnitt überführt. Die maximale Brennstoffkonzentration am Ausgang der Mischstrecke wird gering und die Verteilung des Brennstoffs über den Querschnitt des Mischkanals wird verbessert. Die Folge ist eine Reduktion der thermischen Stickoxidbildung.

[0004] In DE 689 23 413 T2 ist eine Kraftstoff-Luftvormischvorrichtung für eine Gasturbine beschrieben, welche eine Doppelzylinderstruktur aus einem Innenzylinder und einem Außenzylinder aufweist. Zwischen beiden Zylindern liegen Strömungswege, in die Kraftstoff und Luft eingeleitet werden, wodurch in den Strömungswegen ein Kraftstoff-Luft-Gemisch gebildet wird. Düsen zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Strömungswege sind exzentrisch zu einer Längsmittlebene des Strömungsweges angeordnet. Diese Düsen können unabhängig voneinander gesteuert werden.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Verbrennungsvorrichtung mit verbesserter Durchmischung von Brennstoff und Luft zu schaffen, bei der die Zusammensetzung des Gemisches aus Brennstoff und Luft, d.h. die Luftzahl, variierbar ist, um einerseits die NO-Emission gering zu halten und andererseits ein Verlöschen der Flamme zu vermeiden.

[0006] Die erfindungsgemäße Verbrennungsvorrichtung ist durch den Patentanspruch 1 definiert. Sie ist generell in gleicher Weise ausgebildet wie in DE 10 2007 036 953 beschrieben, jedoch ist hiervon abweichend mindestens eine Brennstofflanze exzentrisch zu einer Längsmittlebene des Einlaufs angeordnet.

[0007] In der genannten älteren Patentanmeldung wurde dargelegt, dass der Grad der Mischung im Austritt

der Brennerdüse einen wesentlichen Einfluss auf die nachfolgenden Verbrennungsvorgänge in der Brennkammer hat. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Stickoxidbildung (NO_x), die ihrerseits maßgeblich durch die lokale Verbrennungstemperatur (Zeldovich oder thermisches NO) bestimmt ist. Das Ziel einer bestmöglichen Reduzierung der Stickoxidemission lässt sich erreichen, indem man durch geeignete Kontrolle der Mischungs- und Verbrennungsprozesse die Verbrennungstemperatur so gering wie möglich hält. Im Falle von Gasturbinenbrennkammern wird die Verbrennungstemperatur durch einen Überschuss an Verbrennungsluft durch den Brenner reguliert. Die maßgebliche Kennzahl ist hierbei die Luftzahl λ , gebildet aus dem molaren Verhältnis von Luft zu Brennstoff, bezogen auf die stöchiometrische Zusammensetzung ($\lambda=1$). Für doppelten Luftüberschuss beispielsweise gilt dann $\lambda=2$. Im Brenner selbst werden Brennstoff und Luft zusammengeführt und es entstehen zunächst auch bei hohem Luftüberschuss stöchiometrische Bereiche. Das Mischungsverhalten eines Brenners lässt sich nun dadurch charakterisieren, in welchem Maße auftretende λ -Inhomogenitäten im Brenner vor Eintritt in die Brennkammer abgebaut werden. Im besten Fall erreicht man ein homogenes Profil mit dem λ -Wert der zugeordneten globalen Mischung. Die entsprechende adiabate Verbrennungstemperatur der globalen Mischung kann somit als die untere Grenze der optimaler Weise zu erreichenden maximalen Verbrennungstemperatur angesehen werden, vorausgesetzt es findet kein zusätzlicher Wärmeentzug statt. Der Grad der Annäherung an diesen Idealzustand charakterisiert die Mischungsgüte eines Brenners. Dieses Konzept konnte erfolgreich für eine thermische Leistung von ca. 800 kW bei einem λ -Wert von 1.6 und einer zugeordneten Leistungsdichte von ca. 13.6 MW/(m² bar) bezogen auf die Fläche der Brennkammerkopfplatte) auf dem Prüfstand realisiert werden.

[0008] In der vorliegenden Erfindung wird nun das Problem der Leistungsmodulation über einen möglichst breiten λ -Bereich durch Brennstoffvariation bei konstantem Luftmassenstrom adressiert. Die untere λ -Grenze ist durch die maximal tolerierbare NO-Emission und damit durch die maximale Flammentemperatur bestimmt. Für $\lambda=1.6$ liegt die NO-Emission bei ca. 10 ppm (bezogen auf 15% O₂ im Brennkammeraustritt). Die zugeordnete adiabate Flammentemperatur der globalen Mischung liegt hier bei ca. 2000 K. Bei kleineren λ -Werten ist ein drastischer Anstieg der NO-Emission und auch CO-Emissionen (Gleichgewicht) zu verzeichnen. Es zeigt sich also, dass im niedrigen λ -Bereich, d.h. im Volllastbereich, die Mischung extrem wichtig ist. Weiterhin scheint es plausibel, dass bei Erhöhung von λ , d.h. bei Abmagerung des Gemisches, die Flamme irgendwann verlöschen wird. Die Annäherung an das Flammenverlöschen wird im Normalfall durch einen extrem starken Anstieg der CO-Emission angekündigt. Diese so definierte Verlöschgrenze ist bei ansonsten gleichen Betriebsbedingungen abhängig von der jeweils betrachte-

ten Leistungsdichte. Während im obigen Fall der Leistungsdichte von 13.6 MW/(m² bar) (bei $\lambda=1.6$) die Verlöschgrenze bereits bei ca. $\lambda=1.8$ erreicht wird, liegt diese für eine kleinere Leistungsdichte von 3.2 MW/(m² bar) bei nahezu $\lambda=3.0$. Die Erfindung zeigt eine Möglichkeit, wie die Verlöschgrenze auch für sehr hohe Leistungsdichten nach oben verschoben und damit eine sehr breite Leistungsmodulation bewirkt werden kann.

[0009] Mit Erhöhung des globalen λ -Wertes steigen in der oben beschriebenen Abhängigkeit die Zündverzugszeiten dermaßen an, dass ein frühzeitiges Flammenverlöschen eintritt. Wenn man so will, ist in diesem Fall die Mischung "zu gut". Diesem Effekt kann man entgegenwirken, indem man die Brennstofflanze exzentrisch zur Mischrohrachse in Richtung der Brennkammerachse verschiebt. Damit wird die maximale lokale Brennstoffkonzentration erhöht und die Flamme verlöscht erst bei entsprechend höherem λ . Der Nachteil ist, dass im Hauptlastfall ($\lambda=1.6$) die maximale Flammentemperatur ebenfalls und damit auch die thermische NO-Produktion ansteigt. Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, die jeweiligen Vorteile der zentrischen und exzentrischen Positionierung der Brennstoffeingeabe durch Hinzunahme einer zweiten Brennstofflanze miteinander zu kombinieren. Dabei lassen sich beide Lanzen über separate Zufuhrsysteme unabhängig voneinander mit Brennstoff versorgen. Der Abstand der Lanzen zueinander und auch deren radiale Position in Bezug auf die Brennkammerachse ist in einem gewissen Rahmen variierbar und kann jeweils spezifischen konstruktiven Erfordernissen angepasst werden. Numerische Simulationen zeigen, dass für jeden Betriebspunkt, das heißt für jedes λ ein spezifischer Wert der Brennstoffaufteilung auf beide Lanzen (fuel staging) existiert, der bei der Verbrennung ein Minimum an Schadstoffemissionen bewirkt. Ein weiterer wichtiger Aspekt besteht darin, dass durch geeignetes fuel staging eventuell auftretende Flammeninstabilitäten nahezu vollständig verhindert werden können.

[0010] Durch die Erfindung wird erreicht, dass an den Übergangsstufen Querströmungen initiiert werden, durch die der Mischungsvorgang durch Erhöhung des turbulentdiffusen Transportes sowie der Induktion eines konvektiven Sekundärtransportes stark verbessert wird. Dies wird dadurch erzielt, dass die Verbrennungsluft aus einem Rechteckkanal in einen Kanal mit rundem Querschnitt überführt wird. Rechteckkanal und Rundkanal sind "inline", d. h. auf derselben Brennerachse angeordnet und bilden auf ihrer Übergangsfläche zwei zueinander parallele Stufen (Übergangsstufen) aus. Es entsteht ein konvektiv-diffusiver Transport des Brennstoff-Luft-Gemisches und eine starke und gleichmäßige Ausbreitung des Brennstoffs auch in radialer Richtung. Die maximale Brennstoffkonzentration am Ausgang der Mischstrecke ist somit gering und die Verteilung des Brennstoffs über den Querschnitt des Mischkanals wird verbessert. Die Folge ist eine Reduktion der thermischen Stickoxidbildung. Die Übergangsstufen zwischen ecki-

gem und rundem Querschnitt bewirken die Induktion von vier Sekundärwirbeln, die jeweils um eine parallel zu der Brennerachse, jedoch radial versetzt, verlaufende Wirbelachse rotieren. Die Rotationen benachbarter Sekundärwirbel haben entgegengesetzten Drehsinn.

[0011] Die Erfindung eignet sich insbesondere für eine Verbrennungsvorrichtung für Gasturbinen, bei der mehrere Brenner ringförmig angeordnet sind und in eine gemeinsame Brennkammer einmünden.

[0012] Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

[0013] Es zeigen:

- 15 Figur 1 eine Stirnansicht und eine Seitenansicht eines Brenners mit rechteckiger Mischstrecke und rundem Mischrohr, wobei zwei Brennstofflanzen exzentrisch angeordnet sind,
- 20 Figur 2 in gleicher Darstellung wie Figur 1 eine Ausführungsform, bei der eine Brennstofflanze zentrisch und eine andere Brennstofflanze exzentrisch angeordnet ist,
- 25 Figur 3 eine Darstellung einer Brennkammer mit mehreren ringförmig angeordneten Brennern, wobei die Positionen der Brennstofflanzen erkennbar sind und
- 30 Figur 4 das Prinzip eines modulierenden Brenners mit unterschiedlichen Brennstoffzufuhren zu den beiden Brennstofflanzen.

[0014] In Figur 1 ist ein Brenner 10 dargestellt, der einen rechteckigen Einlauf 11 und daran anschließend ein rundes Mischrohr 12 aufweist. Zwischen Einlauf 11 und Mischrohr 12 befindet sich ein Übergang 13. Der Einlauf 11 ist von rechteckigem Querschnitt. Er weist zwei parallele Längswände 14, 15 auf, zwischen denen mittig die Längsmittlebene 16 definiert ist. Die beiden Längswände sind durch Querswände 17, 18 verbunden. Der Durchmesser des Mischrohres 12 ist größer als die Quer-Ausdehnung des Einlaufs 11, jedoch kleiner als die Längs-Ausdehnung.

[0015] Gemäß Figur 1 verlaufen durch den Einlauf 11 zwei Brennstofflanzen L1, L2. Jede der Brennstofflanzen besteht aus einem Rohr, durch das Brennstoff zugeführt werden kann. Die Brennstofflanzen L1, L2 haben jeweils einen Einlass 20 und einen Auslass 21, der in das Mischrohr 12 mündet. Um die Brennstofflanzen herum befindet sich ein Luftkanal 22 mit einem Einlass 27.

[0016] Gemäß Figur 1 sind die beiden Lanzen L1, L2 im Abstand von der Längsmittlebene 16 angeordnet, also "exzentrisch". Die beiden Brennstofflanzen sind symmetrisch zur Längsmittelachse vorgesehen.

[0017] Bei dem Ausführungsbeispiel von Figur 2 ist die Brennstofflanze L1 zentrisch angeordnet, d. h. mit ihrer Achse in der Längsmittlebene 16. Die Brennstofflanze

L2 ist exzentrisch angeordnet, also im Abstand von der Längsmittlebene 16.

[0018] Figur 3 zeigt ein Ringbrennersystem, wie es in stationären Gasturbinen zur Anwendung kommt. Zahlreiche Brenner 10 der beschriebenen Art sind ringförmig angeordnet und sie münden in eine gemeinsame Brennkammer 23. Die Brennkammer ist hier rund und sie weist eine Brennkammerachse 24 auf. Die Einläufe 11 der Brenner 10 sind hier nicht exakt rechteckig. Sie bilden vielmehr einen Ring und sind daher um die Achse 24 gebogen. In Figur 3 sind auch die Mischrohre 12 dargestellt, die in die Brennkammer 23 münden. Die Flammen entstehen in Strömungsrichtung hinter den Mischrohren 12 in der Brennkammer 23.

[0019] Gemäß Figur 3 enthält jeder Einlauf 11 zwei Brennstoffflanzen L1, L2, die in gleicher Weise angeordnet sind wie in Figur 1.

[0020] Figur 4 zeigt unterschiedliche Betriebszustände eines Brenners 10, der mit zwei Brennstoffflanzen gemäß Figur 1 ausgestattet ist. Die Zufuhr von Brennstoff zu den Brennstoffflanzen L1, L2 ist jeweils separat steuerbar. Die Pfeile F1 und F2 bezeichnen die Brennstoffzufuhr zu den Brennstoffflanzen und der Pfeil S bezeichnet die Luftzufuhr. In Figur 4 ist die Verteilung des gasförmigen Brennstoffs auf einer Längsschnittebene durch die Brennerachse und die Brennkammerachse 24 aufgetragen. Durch anteilmäßig unterschiedliche Beaufschlagung der beiden Brennstoffflanzen lässt sich kontinuierlich die Ausbildung und Lage der Flammenfront 25 verändern. Dabei wird die sich in der Brennkammer 23 ergebende Rezirkulationsströmung 26 durch Wärmefreisetzung in der Flammenfront 25 in dem Maße aufgeheizt, dass das in die Brennkammer eintretende Brennstoff/Luft-Gemisch eine genügende Vorwärmung erfährt. Dadurch wird die Zündverzugszeit reduziert und das Flammenverlöschen verhindert.

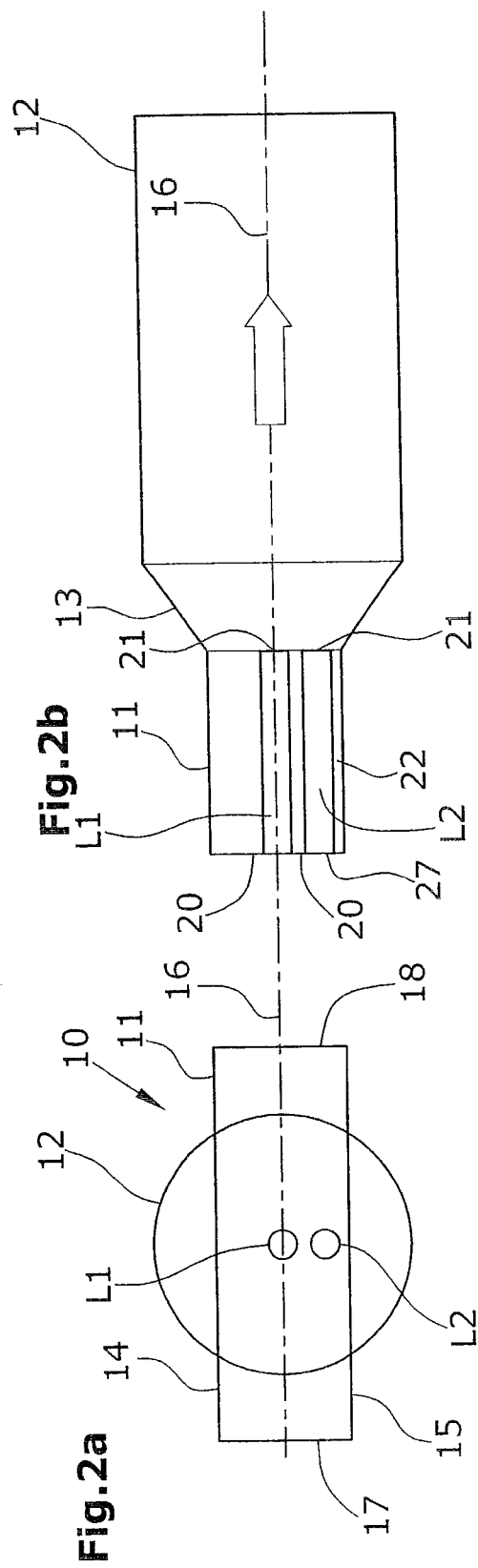
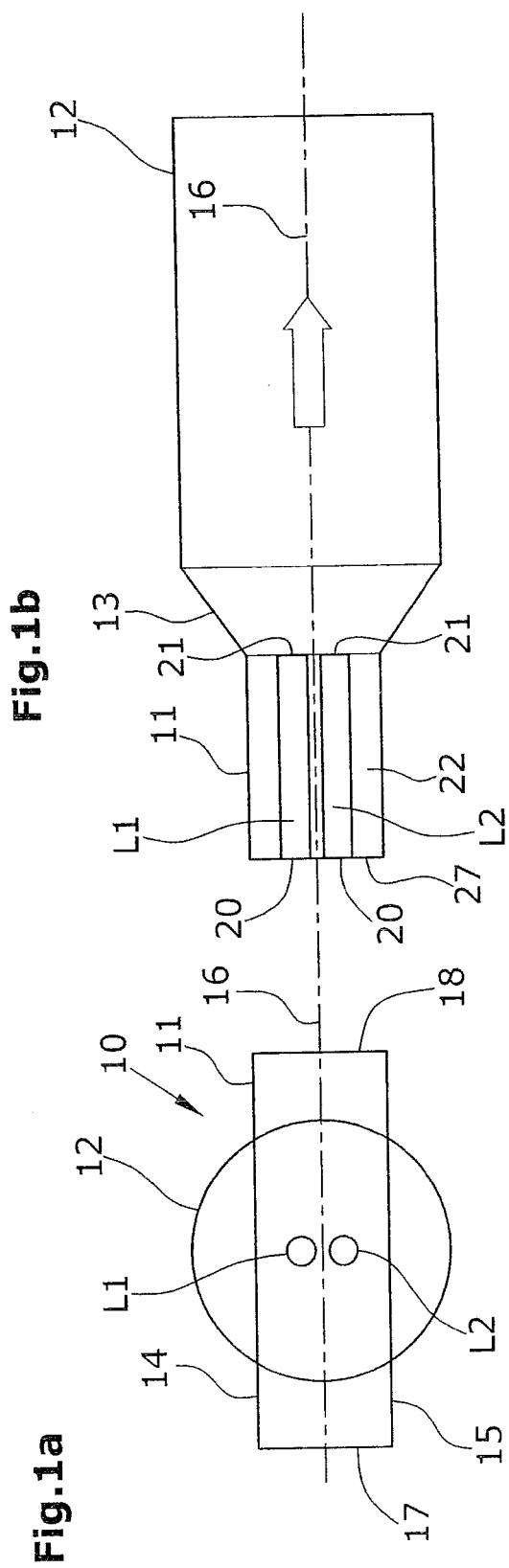
[0021] In Figur 4 zeigt die Darstellung a) den Zustand, dass die äußere Brennstoffflanze L1 mit 100% der Brennstoffmenge beaufschlagt ist, während die innere Brennstoffflanze L2 gesperrt ist. Die Darstellung b) zeigt ein Verhältnis von 50:50 und die Darstellung c) ein Verhältnis von 0:100. Als Brennstoff wird beispielsweise CH_4 benutzt. Man erkennt, dass durch Änderung der Brennstoffanteile die Flammenfront 25 verändert werden kann. Dadurch wird die Zündverzugszeit reduziert und das Flammenverlöschen verhindert. Auf diese Weise kann die Flammentemperatur für jedes λ derart eingestellt werden, dass die Flamme gerade nicht verlöscht und gleichzeitig eine geringstmögliche NO-Produktion stattfindet. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Tatsache zu richten, dass bei Annäherung an die Verlöschgrenze ein extrem starker Anstieg der CO-Produktion, gegenläufig zur NO-Produktion, einsetzt und der Ausbrand nicht mehr vollständig ist.

[0022] Bei einem Simulationsbeispiel hat sich ergeben, dass die NO-Emission im gesamten Leistungsbe-
reich unter 10 ppm (bezogen auf 15% O_2) liegt und bei $\lambda=2.4$ einen Minimalwert von 2.7 ppm annimmt. Neuere

Simulationen mit der exzentrischen Anordnung von Figur 2 deuten darauf hin, dass der Modulationsbereich über $\lambda=3.0$ hinaus noch erweitert werden kann. Insgesamt ergibt sich, dass mit dem erfindungsgemäßen Brenner die Verbrennung als sehr schadstoffarm eingestuft werden kann.

Patentansprüche

1. Verbrennungsvorrichtung mit mindestens einem Brenner (10), der einen im wesentlichen rechteckigen Einlauf (11) mit zwei parallelen Längswänden (14, 15) und zwei parallelen Querwänden (17, 18) sowie mit Einlässen (20, 27) für Brennstoff und Luft und mit mindestens einer durch den Einlauf (11) verlaufenden Brennstoffflanze (L1, L2), die exzentrisch zu einer Längsmittlebene (16) des Einlaufs (11) angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich an den Einlauf (11) ein Übergang (13) zu einem runden Mischrohr (12) anschließt, dessen Achse auf der Längsmittlebene des Einlaufs (11) liegt, und dass der Durchmesser des Mischrohres (12) größer ist als der Abstand der Längswände (14, 15) des Einlaufs und kleiner als der Abstand der Querwände (17, 18).
2. Verbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei Brennstoffflanzen (L1, L2) vorgesehen sind, von denen mindestens eine exzentrisch angeordnet ist.
3. Verbrennungsvorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennstoffflanzen (L1, L2) voneinander unabhängig gesteuert mit Brennstoff versorgbar sind.
4. Verbrennungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1-3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Brenner (10) ringförmig angeordnet sind und in eine gemeinsame Brennkammer (23) einmünden, und dass in jedem Brenner (10) eine Brennstoffflanze von der Längsmittlebene des zugehörigen Einlaufs (11) zur Längsachse (24) der Brennkammer (23) hin versetzt angeordnet ist.



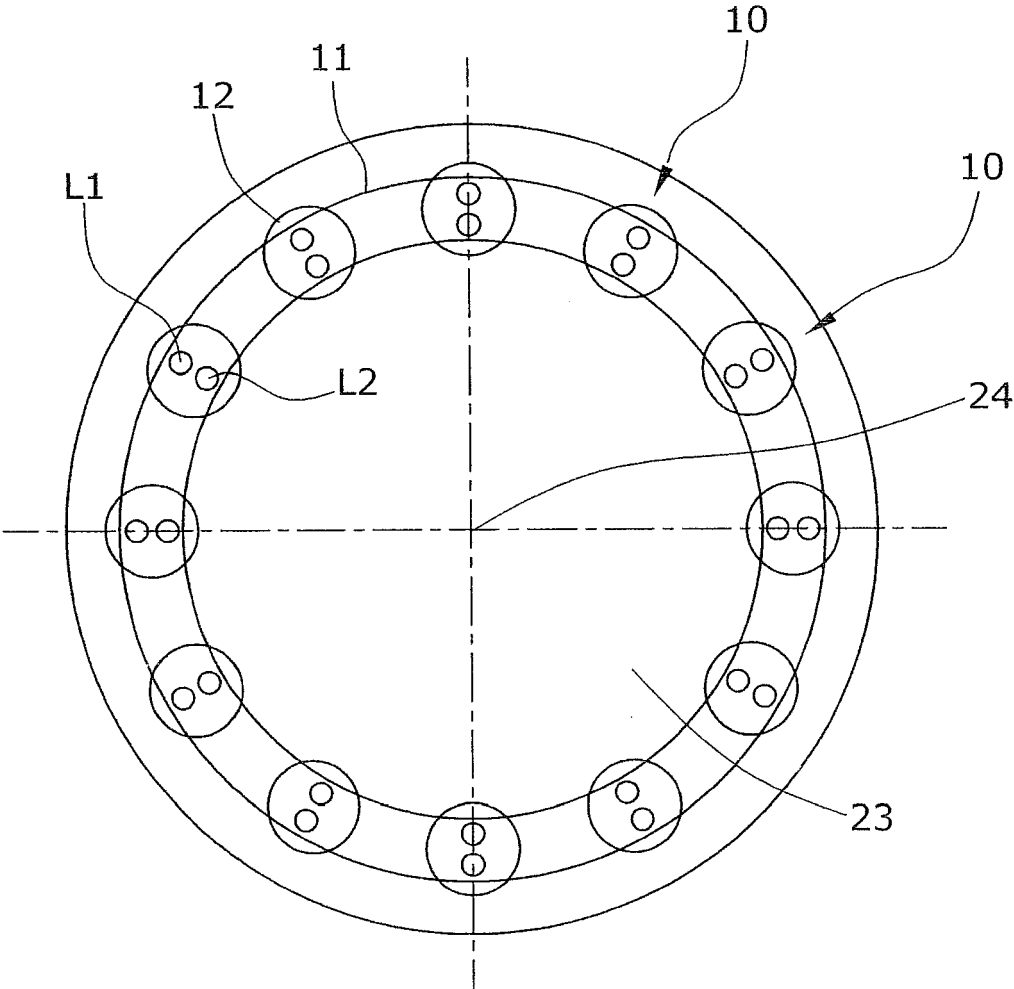
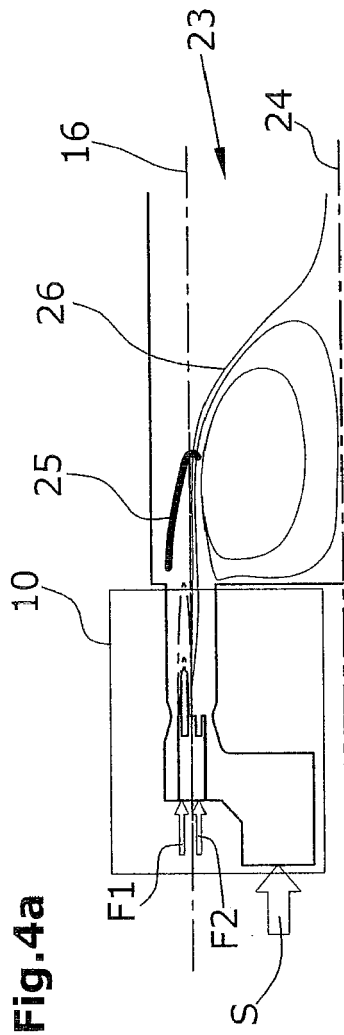


Fig.3

Fig. 4a

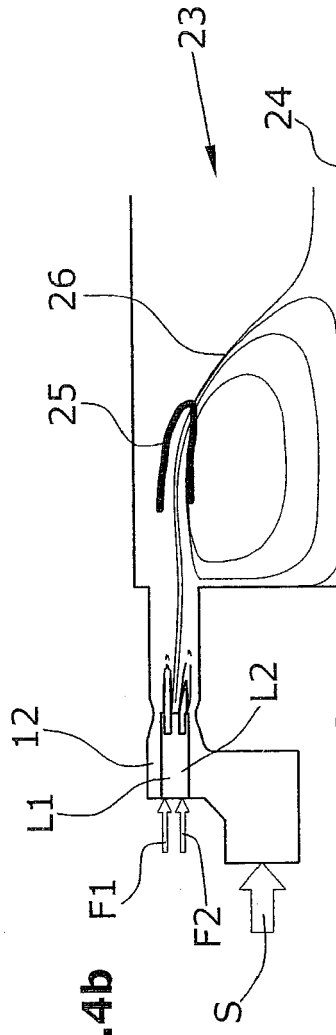


Zufuhr [%]

L1 L2

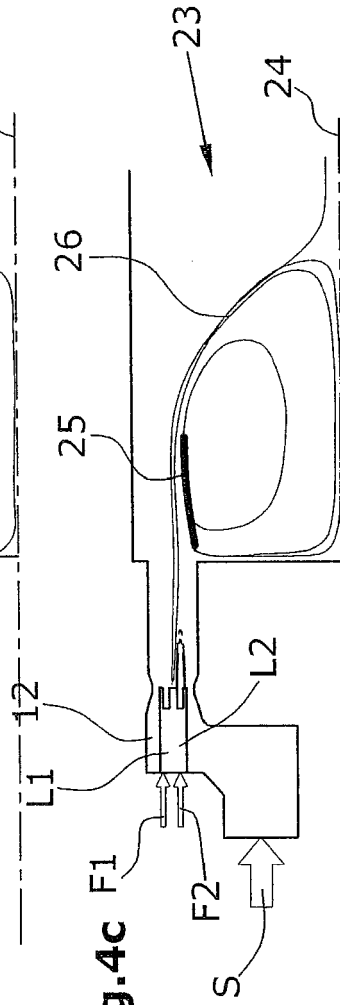
100 / 0

Fig. 4b



50 / 50

Fig. 4c



0 / 100

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0463218 B1 [0002]
- DE 102007036953 [0003] [0006]
- DE 68923413 T2 [0004]