

(19)



(11)

EP 3 940 293 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.01.2025 Patentblatt 2025/02

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F23C 6/04 ^(2006.01) **F23C 9/00** ^(2006.01)
F23D 11/40 ^(2006.01) **F23D 14/20** ^(2006.01)
F23D 14/62 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21182423.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F23D 14/20; F23C 6/047; F23C 9/006;
F23D 11/404; F23D 11/408; F23D 14/62;
F23C 2201/30; F23C 2202/40; F23C 2900/03005

(22) Anmeldetag: **29.06.2021**

(54) **VERFAHREN ZUR GESTUFTEN VERBRENNUNG EINES BRENNSTOFFES UND BRENNKOPF**
METHOD FOR STAGED COMBUSTION OF A FUEL AND COMBUSTION HEAD
PROCÉDÉ DE COMBUSTION ÉTAGÉE D'UN COMBUSTIBLE ET TÊTE DE COMBUSTION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR

- **HANKA, Kathleen**
01309 Dresden (DE)
- **KRETZSCHMAR, Ronny**
01824 Gohrisch (DE)
- **TOBIAS, Stephan H.**
01796 Pirna (DE)

(30) Priorität: **10.07.2020 DE 102020118325**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(74) Vertreter: **Samson & Partner Patentanwälte mbB**
Widenmayerstraße 6
80538 München (DE)

(73) Patentinhaber: **ELCO Burners GmbH**
01796 Pirna (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 612 959 EP-A1- 3 078 910
DE-A1- 4 427 104 US-A- 4 737 100

(72) Erfinder:
• **SCHMIDT, Thomas**
01796 Pirna (DE)

EP 3 940 293 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes und einen Brennkopf zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes.

[0002] Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Feuerungsanlagen entstehen neben anderen Verbrennungsprodukten auch Stickoxide z.B. NO, NO₂. Im Folgenden wird zusammenfassend nur von NO gesprochen. Diese und andere Schadstoffemissionen können durch konstruktive Maßnahmen in den Brennern beeinflusst und reduziert werden. Die Reaktionsmechanismen, die zu derartigen Stickoxiden führen, sind weitgehend bekannt und werden im Allgemeinen in thermische und prompte NO-Bildung unterschieden, sowie als NO-Bildung infolge der Oxidation des im Brennstoff chemisch gebundenen Stickstoffs beschrieben.

[0003] Dabei ist bekannt, dass das thermische NO gemäß dem sogenannten Zeldovich-Mechanismus zum einen von der Verweilzeit der Reaktionspartner in der Verbrennungszone und zum anderen in hohem Maße von der Verbrennungstemperatur selbst abhängig ist. Die Verbrennungstemperatur ist mit dem Brennstoff-/Luftverhältnis λ gekoppelt. Die maximale Verbrennungstemperatur stellt sich bei einem Brennstoff-/Luftverhältnis $\lambda=1$ ein. Dieses wird auch als stöchiometrisches Verhältnis bezeichnet. Es ist genau so viel Sauerstoff in der Verbrennungsluft vorhanden, dass der Brennstoff vollständig verbrennt. Bei einem Brennstoff-/Luftverhältnis $\lambda < 1$ spricht man von einem fetten Gemisch, es ist zu viel Brennstoff vorhanden. Bei einem Brennstoff-/Luftverhältnis $\lambda > 1$ spricht man von einem mageren Gemisch, es gibt einen Luftüberschuss. Bei beiden sinkt die Verbrennungstemperatur wieder ab und folglich wird auch weniger thermisches NO gebildet.

[0004] Neben dem thermischen NO spielt auch die Bildung des prompten NO_x eine nicht unwesentliche Rolle. Das prompte NO entsteht durch in Flammen intermediär gebildete Kohlenwasserstoff-Radikale CH, die als Zwischenprodukte bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger, fossiler Brennstoffe vorliegen. Die CH-Radikale reagieren mit Luftstickstoff zu Blausäure (HCN), welche in sehr schnellen Bildungsreaktionen weiter zu NO umgesetzt wird. Eine bewährte Methode, um die Bildung freier CH-Radikale und somit die Bildung des prompten NO zu unterdrücken, ist die Magerverbrennung oder überstöchiometrische Verbrennung. Mit Magerverbrennung bezeichnet man die Verbrennung mit einem Luftüberschuss also mit $\lambda > 1$.

[0005] Das prompte NO entsteht im Vergleich zum thermischen NO in geringen Mengen, ist jedoch für die Minderung der NO-Bildung insbesondere bei Ultra-Low-NO-Anwendungen mitentscheidend.

[0006] Weiter ist bekannt, dass sich die Rezirkulation bzw. Rückführung von bei der Verbrennung entstehenden Abgasen positiv auf die Verringerung der Stickoxidbildung auswirkt. Das rückgeführte abgekühlte Abgas

verringert dabei sowohl die Flammentemperatur selbst als auch den O₂-Partialdruck in der Verbrennungszone. Beide Effekte tragen zur Reduzierung der NO-Bildung bei. Jedoch führt eine Einmischung zunehmender Abgasmengen tendenziell zu einer Destabilisierung des kontinuierlichen Verbrennungsvorganges.

[0007] EP 1 754 937 B1 und EP 2 037 173 B1 zeigen Brennköpfe, mit denen eine NO-Reduzierung erreicht wird. Dabei handelt es sich primär um einstufige Verbrennungsverfahren, die nur in einem begrenzten Umfang eine weiterführende NO-Optimierung und Stabilisierung der Flamme zulassen. DE 195 09 219 A1 zeigt einen Brennkopf zur zweistufigen Verbrennung mit einem überstöchiometrischen Luft-Gasgemisch in der ersten Stufe und einem unterstöchiometrischen Luft-Gasgemisch in der zweiten Stufe. DE 44 27 104 A1 zeigt ein Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes. Innerhalb eines Brennerrohrs wird eine stark überstöchiometrische Primärflamme ausgebildet. Eine zweite Brennstoffmenge wird stromabwärts für eine Hauptflamme dergestalt zugeführt, dass eine stöchiometrisch vollständige Verbrennung erfolgt, EP 3 078 910 B1 zeigt einen Gasbrenner mit mehrstufiger Verbrennung mit einer stark überstöchiometrischen Primärflamme innerhalb eines Brennerrohrs und einer schwach überstöchiometrischen Hauptflamme am Ausgang des Brennerrohrs.

[0008] Der Primärbrennkopf weist einen Verwirbler und Haupt- sowie Stabilisierungsgasdüsen auf. Die gesamte Verbrennungsluft durchströmt beide Verbrennungsstufen. Der Gasbrenner erreicht eine Reduzierung des thermischen NO_x.

[0009] Bei einem Brennkopf kann in der Regel zwischen sogenannten Mischzonen und sogenannten Verbrennungszonen unterschieden werden.

[0010] In einer Mischzone werden unterschiedliche Fluide gemischt, die (noch) nicht verbrannt werden. In einer Mischzone sind üblicherweise die Bedingungen, die für eine Verbrennung vorliegen müssen, nicht erfüllt. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn die Strömungsgeschwindigkeit des zündfähigen Gemischs deutlich höher als die Flammengeschwindigkeit liegt.

[0011] Eine Verbrennungszone ist ein Bereich, in dem die zur Verbrennung erforderlichen Bedingungen vorliegen. Eine Verbrennungszone ist gegeben, wenn ein zündfähiges Gemisch (z.B. Brennstoff-Verbrennungsluft-Gemisch, Brennstoff-Verbrennungsluft-Abgas-Gemisch, Brennstoff-Oxidationsmittel-Gemisch, Brennstoff-Oxidationsmittel-Abgas-Gemisch) vorliegt, die Strömungsgeschwindigkeit des zündfähigen Gemischs und die Flammengeschwindigkeit im Wesentlichen gleich sind und eine Temperatur vorliegt, die gleich oder größer der Zündtemperatur des zündfähigen Gemischs ist. Der allgemeinere Begriff Oxidationsmittel umfasst den Begriff Verbrennungsluft, schließt aber auch beispielsweise mit zusätzlichem Sauerstoff angereicherte Umgebungsluft mit ein. In Bereichen, in denen diese Bedingungen nicht erfüllt sind, kann keine Zündung

bzw. Verbrennung erfolgen. Oft gehen Mischzonen ohne deutliche räumliche Trennung in Verbrennungszonen über.

[0012] Aus diesen und anderen Gründen besteht ein Bedarf an der vorliegenden Erfindung. Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine energetisch vorteilhafte Verbrennung mit minimiertem NO-Ausstoß zur Verfügung zu stellen. Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0013] Die Ziele und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden deutlich in der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die mit Bezug auf die beigefügten Figuren erfolgt, in denen:

Fig. 1 stark schematisiert eine Seitenansicht eines Brennkopfs zeigt;

Fig. 2 schematisch perspektivisch Teile eines Brennkopfs von einer Brennstoffzuführungsseite zeigt;

Fig. 3 schematisch perspektivisch Teile des Brennkopfs von Fig. 2 von einer Flammenseite zeigt;

Fig. 4 schematisch eine Seitenansicht eines Brennkopfs zeigt;

Fig. 5 schematisch eine Schnittansicht eines vorderen Abschnitts eines Brennkopfs zeigt; und

Fig. 6 schematisch eine Vorderansicht eines Brennkopfs zeigt.

[0014] Im Folgenden sind unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Gesichtspunkte und Ausführungsformen beschrieben, worin gleiche oder ähnliche Bezugszeichen im Allgemeinen benutzt werden, um auf gleiche oder ähnliche Elemente zu verweisen. In der folgenden Beschreibung sind zahlreiche bestimmte Einzelheiten dargelegt, um ein gründliches Verständnis eines oder mehrerer Gesichtspunkte der Ausführungsformen zu bieten. Einem Fachmann kann jedoch offensichtlich sein, dass ein oder mehrere Gesichtspunkte der Ausführungsformen mit einem geringeren Maß der bestimmten Einzelheiten ausgeführt werden kann. In weiteren Fällen sind Elemente in schematischer Form gezeigt, um das Beschreiben eines oder mehrerer Gesichtspunkte der Ausführungsformen zu erleichtern. Die folgende Beschreibung soll daher nicht als beschränkend aufgefasst werden. Es wird bemerkt, dass die Darstellung der verschiedenen Elemente in den Figuren nicht notwendigerweise maßstabsgetreu ist.

[0015] In der Beschreibung mit Bezug auf die Zeichnungen verwendete Richtungsterminologie, wie etwa zum Beispiel "oben", "unten", "Oberseite", "Unterseite", "links", "rechts", "Vorderseite", "Rückseite", "senkrecht", "waagrecht" usw. ist nicht beschränkend zu verstehen. Bestandteile von Ausführungsformen können in einer Anzahl unterschiedlicher Ausrichtungen positioniert wer-

den, die Richtungsterminologie wird lediglich zur Erläuterung verwendet. Es versteht sich, dass weitere Ausführungsformen verwendet werden können und bauliche oder logische Veränderungen vorgenommen werden können, ohne von dem Konzept der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0016] Mehrstufige Verbrennungsverfahren sind in der Praxis bereits seit langem bekannt. Aktuell reichen die bisher bekannten Ansätze jedoch nicht aus, um die stetig steigenden NO-Anforderungen an den Betrieb von Feuerungsanlagen auch langfristig weiter erfüllen zu können. Eine intensivere NO-Absenkung ist durch eine gestufte Verbrennung gemäß der Offenbarung möglich. Mit einer entsprechenden Regelbarkeit kann die NO-Absenkung auch über einen weiten Lastbereich und/oder für verschiedene Brennstoffe und/oder für verschiedene Feuerräume gewährleistet werden.

[0017] Es wird ein Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes unter Zuführung von Verbrennungsluft in ein Brennerrohr gemäß Anspruch 1 bereitgestellt. Bei dem Brennstoff kann es sich um ein Gas oder einen flüssigen Brennstoff handeln. Eine erste Brennstoffmenge wird zur Ausbildung einer Primärflamme innerhalb des Brennerrohrs zugeführt. Eine zweite Brennstoffmenge kann stromabwärts zur Ausbildung einer Hauptflammenfront zugeführt werden. Die Hauptflamme stabilisiert sich stromabwärts des Brennerrohrs und beabstandet von dem Brennerrohr. Die Brennstoffzuführungen sind so ausgestaltet, dass die Primärflamme mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0 brennt. Hierdurch kann eine sehr niedrige Flammentemperatur erreicht werden. Es bildet sich praktisch kein promptes NO. Die Hauptflamme ist schwach überstöchiometrisch. Die Stöchiometrie kann zwischen 1,03 ... 1,18 liegen. Die Temperatur der Hauptflamme kann durch feuerraumintern rezirkulierte Abgase deutlich herabgesetzt sein.

[0018] In einer Ausführungsform kann die erste Brennstoffmenge unabhängig von der zweiten Brennstoffmenge geregelt werden. Damit kann eine überstöchiometrische Primärflamme über einen weiten Lastbereich gewährleistet werden.

[0019] In einer Ausführungsform kann die zugeführte erste Brennstoffmenge deutlich geringer sein als die zweite zugeführte Brennstoffmenge. Die erste Brennstoffmenge kann etwa zwischen 3 % und 15 % der gesamten Brennstoffmenge, d.h. der Summe aus erster Brennstoffmenge und zweiter Brennstoffmenge betragen. Vorzugsweise liegt die erste Brennstoffmenge zwischen 5 % und 10 % der Summe der ersten Brennstoffmenge und der zweiten Brennstoffmenge.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform wird ein Teil der Verbrennungsluft verdrallt. Dadurch wird eine verwirbelte Verbrennungsluft erzeugt. Eine erste Teilmenge der ersten Brennstoffmenge wird in den Bereich der Luftverwirbelung abgegeben. Damit wird ein verwirbeltes mageres Luft-/ Brennstoffgemisch erzeugt. Es kann eine sehr gute Durchmischung erreicht werden. In die-

sem Bereich ist die Strömungsgeschwindigkeit hoch und das Gemisch mager, so dass keine Zündbedingungen gegeben sind. Die Strömungsgeschwindigkeit des verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemischs wird im nächsten Schritt herabgesetzt. Eine zweite Teilmenge der ersten Brennstoffmenge wird dem verlangsamten verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemisch zugeführt.

[0021] Es wird ferner ein Brennkopf zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes gemäß Anspruch 7 bereitgestellt. Der bereitgestellte Brennkopf ermöglicht die Durchführung des Verfahrens. Der Brennkopf ist ausgestaltet, eine erste zugeführte Menge des Brennstoffs in einer überstöchiometrischen Primärflamme zu verbrennen. Eine zweite zugeführte Menge des Brennstoffs wird in einer schwach überstöchiometrischen Hauptflamme verbrannt.

[0022] Eine Zuführung der ersten Menge Brennstoff und eine Zuführung der zweiten Menge Brennstoff kann vorzugsweise voneinander unabhängig geregelt werden und so über einen breiten Lastbereich eine sehr stickoxidarme Verbrennung gewährleisten.

[0023] Die folgenden Figuren zeigen beispielhaft Ausgestaltungen von erfindungsgemäßen Brennköpfen, mit denen das erfindungsgemäße Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes durchgeführt werden kann.

[0024] Fig. 1 zeigt in stark schematisierter Form eine Seitenansicht eines Brennkopfs 10. Der Brennkopf 10 umfasst ein Brennerrohr 12, eine Dralleinrichtung 14, erste Brennstoffdüsen 16a, 16b, zweite Brennstoffdüsen 18, eine erste Brennstoffzuführung 20 und eine zweite Brennstoffzuführung 22. Pfeile symbolisieren den zuströmenden Brennstoff. Im Betrieb bildet sich eine überstöchiometrische Primärflamme 24 innerhalb der Dralleinrichtung 14 und eine Hauptflamme oder Hauptflammenfront 26 beabstandet von dem Brennkopf 10, die beide jeweils durch eine Flamme in der Fig. 1 symbolisch dargestellt sind. Brennkopf 10 dient damit zum gestuften Verbrennen von Brennstoff. Der Brennstoff kann gasförmig sein. Bei dem Brennstoff kann es sich um Erdgas handeln. Der Brennstoff kann Wasserstoff umfassen. Neben einem Einsatz als reiner Gasbrenner ist auch ein Zweistoffbrenner möglich, bei dem neben gasförmigem Brennstoff auch flüssiger Brennstoff verbrannt werden kann. Es ist auch ein Brenner nur für flüssigen Brennstoff möglich. Die weitere Beschreibung bezieht sich in der Regel in nicht einschränkender Weise auf eine Ausführungsform als Gasbrenner.

[0025] Dem Brennerrohr 12 wird in der Darstellung der Fig. 1 von rechts Verbrennungsluft 28 zugeführt. Das in der Darstellung rechte Ende des Brennerrohrs 12 ist damit das stromaufwärts gelegene Ende. Das Brennerrohr 12 kann im Wesentlichen zylindrisch sein. Die Verbrennungsluft 28 durchströmt das Brennerrohr 12 und verlässt dieses an dem in der Darstellung linken offenen Ende des Brennerrohrs 12, dem stromabwärts gelegenen Ende. Die Hauptflammenfront 26 bildet sich strom-

abwärts des Brennkopfs 10. Hier befindet sich der nicht weiter dargestellte Brennraum oder Feuerraum.

[0026] Die Brennstoffmenge aus den ersten Brennstoffdüsen 16a, 16b kann klein sein im Verhältnis zur Brennstoffmenge, welche aus den zweiten Brennstoffdüsen 18 austritt. Wenn nur eine kleine Brennstoffmenge stark überstöchiometrisch in der Primärflamme 24 verbrannt wird, ist eine zweite unterstöchiometrische Verbrennungsstufe nicht notwendig. Daher kann auch die beabstandete Hauptflamme 26 insgesamt überstöchiometrisch sein. Eine generelle unterstöchiometrische Verbrennungszone wie bei einer gestuften Verbrennung mit unterstöchiometrischer und überstöchiometrischer Verbrennungszone und der für die NO-Minderung notwendigen Verweilzeit der Gase in diesen Zonen wird mit dem erfindungsgemäßen Brennkopf 10 nicht erzeugt. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht eine stark überstöchiometrische Primärflamme und eine schwach überstöchiometrische Hauptflamme vor.

[0027] Die Dralleinrichtung 14 ist innerhalb des Brennerrohrs 12 angeordnet. Die Dralleinrichtung 14 kann an beiden Enden offen sein. Eine Längsachse des Brennerrohrs 12 und eine Längsachse der Dralleinrichtung 14 können zueinander parallel sein oder aufeinanderliegen, so dass die Dralleinrichtung 14 mittig in dem Brennerrohr 12 liegt und von der Innenwand des Brennerrohrs radial gleichmäßig beabstandet ist. Ein Teil der Verbrennungsluft 28 strömt außerhalb der Dralleinrichtung 14 durch das Brennerrohr 12, ein anderer Teil der Verbrennungsluft 28 strömt durch die Dralleinrichtung 14.

[0028] Die Dralleinrichtung 14 umfasst einen Drallkörper 30, Drallschaufeln 32 und eine durchbrochene Trennwand 34. Der Drallkörper 30 kann im Wesentlichen zylinderförmig sein. Die durchbrochene Trennwand 34 kann im Wesentlichen senkrecht zu der Längsachse des Drallkörpers 30 verlaufen und einen Innenraum des Drallkörpers 30 in einen ersten Bereich 36 und einen zweiten Bereich 38 aufteilen. Der erste Bereich 36 kann stromaufwärts des zweiten Bereichs 38 liegen. Die durchbrochene Trennwand 34 kann einen Druckverlust bewirken. Sie kann damit lokal die Strömungsgeschwindigkeit stromab der durchbrochenen Trennwand 34 herabsetzen.

[0029] Die Drallschaufeln 32 können nur im ersten Bereich 36 angeordnet sein. Der zweite Bereich stromabwärts der Trennwand 34 kann frei von Drallschaufeln 32 sein. Es kann eine Mehrzahl von Drallschaufeln 32 vorgesehen sein.

[0030] Der Drallkörper 30 kann im ersten Bereich 36 einen größeren Durchmesser aufweisen als im zweiten Bereich 38. Im Übergang zwischen dem ersten Bereich 36 in den zweiten Bereich 38 kann ein konischer Abschnitt vorgesehen sein.

[0031] Die ersten Brennstoffdüsen 16a, 16b sind innerhalb des Drallkörpers 30 angeordnet. Sie sind mit der ersten Brennstoffzuführung 20 verbunden. Die erste Brennstoffzuführung 20 erlaubt eine Regelung der Menge des zu den ersten Brennstoffdüsen 16a, 16b ström-

enden Brennstoffs/ Brenngases, wie mit einem Symbol 40 in Fig. 1 dargestellt. Diese Regelung ist getrennt und unabhängig von einer Regelung 42 in der zweiten Brennstoffzuführung 22.

[0032] Die ersten Brennstoffdüsen 16a, 16b können Primärbrennstoffdüsen, im Weiteren auch Primärgasdüsen genannt, 16a umfassen, die im zweiten, stromabwärts gelegenen Bereich 38 der Dralleinrichtung 14 liegen. Die ersten Brennstoffdüsen 16a, 16b können weitere Brennstoffdüsen- nachfolgend als Stützbrennstoffdüsen oder Stützgasdüsen 16b bezeichnetumfassen, die im ersten, stromaufwärts gelegenen Bereich 36 der Dralleinrichtung 14 liegen.

[0033] Die Stützbrennstoffdüsen 16b können gleichmäßig zwischen den Drallschaufeln 32 verteilt angeordnet sein. Die Stützbrennstoffdüsen 16b können im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse des Brennerrohrs 12 angeordnet sein. Die Drallschaufeln 32 bewirken eine starke Verwirbelung der Verbrennungsluft 28. Der den Stützbrennstoffdüsen 16b entströmende Brennstoff, der auch als Stützgas bezeichnet wird, wird somit hocheffizient mit einem Teil der Verbrennungsluft 28 für die Primärflamme 24 vorgemischt. Es entsteht ein verdrahtes Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemisch. Die Brennstoffzuführung durch die Stützbrennstoffdüsen 16b kann so ausgestaltet sein, dass ein verwirbeltes mageres Luft-/ Brennstoffgemisch ausgebildet wird. Die Stützbrennstoffdüsen 16b können eine erste Teilmenge der ersten Brennstoffmenge abgeben. Die Stützbrennstoffdüsen 16b können zur Abgabe des Brennstoffs Bohrungen aufweisen. Die Bohrungen können so angeordnet sein, dass der Brennstoff wenigstens teilweise im Wesentlichen in radialer Richtung nach innen abgegeben wird, das heißt in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zur Wand des Drallkörpers 30. Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten der verdrahten Verbrennungsluft sowie aufgrund des hohen Luftanteils im Verhältnis zur Brennstoffbeziehungsweise Gasmenge sind die Zündbedingungen des verdrahten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs im Bereich der Drallschaufeln 32, also im stromaufwärts gelegenen Bereich 36, noch nicht gegeben.

[0034] Die Trennwand 34 kann ausgestaltet sein, das verdrahtete Brennstoff-/Verbrennungsluft-gemisch abzubremesen. Die Trennwand 34 kann hierzu Öffnungen aufweisen. Die Trennwand kann hierzu im Wesentlichen gitterartig ausgestaltet sein. Eine Geometrie der Trennwand 34 kann ausgestaltet sein, die Strömungsgeschwindigkeit des verdrahten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs herabzusetzen und dabei die Verwirbelung weitgehend ungestört zu lassen. Die Trennwand 34 setzt die absolute Strömungsgeschwindigkeit der verdrahten und vorgemischten Primärluft herab und gewährleistet damit die Zündung der Primärflamme 24, die in diesem Bereich zusätzlich mit einem zweiten Anteil der ersten Brennstoffmenge angereichert wird.

[0035] Die Primärbrennstoffdüsen 16a können gleichmäßig im stromabwärts gelegenen Bereich 38 verteilt

sein. Die Primärbrennstoffdüsen 16a liegen damit stromabwärts der Trennwand 34 in einem Bereich geringerer Strömungsgeschwindigkeit. Die Primärbrennstoffdüsen 16a können im Wesentlichen senkrecht zu einer Längsachse des Brennerrohrs 12 angeordnet sein. Die Primärbrennstoffdüsen 16a können gleichmäßig in einem Strahlenkranz verteilt sein. Es kann eine Mehrzahl von Primärbrennstoffdüsen 16a vorgesehen sein. Die Primärbrennstoffdüsen 16a geben im stromabwärts gelegenen Bereich 38 den zweiten Teil der ersten Brennstoffmenge, welcher als Primärgas bezeichnet wird, an das im beschauelten Teil des Drallkörpers 30 oder in anderen Worten im ersten Bereich 36 gebildete Brennstoff-LuftGemisch ab und erzeugen somit das zündfähige Gemisch für die Ausbildung der Primärflamme 24. Die Primärbrennstoffdüsen 16a können zur Abgabe des Brennstoffs Bohrungen aufweisen. Die Bohrungen können seitlich an den Primärbrennstoffdüsen 16a angeordnet sein. Die seitlichen Bohrungen können so angeordnet sein, dass der Brennstoff im Wesentlichen in tangentialer Richtung abgegeben wird.

[0036] Das Verhältnis der Öffnungsfläche der Gesamtheit der Bohrungen in den Primärbrennstoffdüsen 16a zu der Öffnungsfläche der Gesamtheit der Bohrungen in den Stützbrennstoffdüsen 16b kann unter Berücksichtigung der Zuleitungen zu den Primärbrennstoffdüsen 16a und den Stützbrennstoffdüsen 16b ein Verhältnis von Primärgas zu Stützgas bestimmen. Das Verhältnis kann abhängig von der Gesamtgeometrie und der Brennstoffqualität bzw. der Brennstoffzusammensetzung gewählt sein. Das Verhältnis kann bei etwa 1:1 liegen. Etwa die Hälfte des durch die erste Brennstoffzuführung 20 strömenden Brennstoffs kann über die Primärbrennstoffdüsen 16a im Bereich 38 abgegeben werden, und etwa die Hälfte des durch die erste Brennstoffzuführung 20 strömenden Brennstoffs kann über die Stützbrennstoffdüsen 16b im Bereich 36 abgegeben werden.

[0037] Die separate Regelbarkeit von Primär- und Stützgas durch die Regeleinrichtung 40 im Verhältnis zur Regelbarkeit der durch die zweite Brennstoffzuführung 22 strömenden zweiten und hauptsächlichen Brennstoffmenge sowie die Auslegung von Drallkörper 30, Primär- und Stützbrennstoffdüsen 16a, 16b sowie Trennwand 34 können eine Primärflamme 24 mit einer Stöchiometrie $\lambda > 1$ über einen weiten Lastbereich erzeugen. In einer Ausführungsform liegt die Stöchiometrie der Primärflamme 24 bei $\lambda > 1,5$. In einer anderen Ausführungsform liegt die Stöchiometrie der Primärflamme 24 bei $\lambda > 2$.

[0038] Aufgrund der dadurch sehr niedrigen Verbrennungstemperaturen entsteht innerhalb der Primärflamme 24 nachweislich nahezu kein thermisches und kein promptes NO.

[0039] Derart niedrige Verbrennungstemperaturen erzeugen jedoch auch stets Flammeninstabilitäten, die zwingend abgefangen werden müssen. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist exponentiell von der Temperatur in der Flammenzone und von der Turbulenz in derselben

abhängig. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch unvollkommene Durchmischung von Brennstoff und Oxidator gemindert. Flammeninstabilität tritt auf, wenn die Strömungsgeschwindigkeit in axialer Richtung größer ist, als die turbulente Flammengeschwindigkeit.

[0040] Für eine stabile Primärflamme 24 sind die vorherige Zufuhr des Stützgas über die Stützbrennstoffdüsen 16b in die verdrahlte Verbrennungsluft und damit die Anreicherung und Vormischung der Primärluft mit Brennstoff, die Art und Position der Einbringung des Primärgases, das Verhältnis aus Stütz- und Primärgas sowie die Geometrie und Position der Trennwand 34 im unbeschauelten Teil 38 des Drallkörpers 30 in der dargestellten Ausführungsform von Bedeutung. Andere Mittel können vorgesehen sein, um eine stabile Primärflamme mit einer Stöchiometrie größer 1, insbesondere größer 1,5 oder auch größer 2 zu erzielen.

[0041] Weiterhin ist der zylindrische, unbeschauelte Teil des Drallkörpers 30, der Bereich 38 in Fig. 1, so ausgestaltet, dass sich die Primärflamme 24 in einem definierten Bereich ausbildet, der von der restlichen Verbrennungsluft 28, die außerhalb des Drallkörpers 30 durch das Brennerrohr 12 strömt, geschützt ist.

[0042] Die zweiten Brennstoffdüsen 18, auch als Hauptgasdüsen bezeichnet, liegen außerhalb und stromabwärts der Dralleinrichtung 14. Die zweiten Brennstoffdüsen 18 sind mit der zweiten Brennstoffzuführung 22 verbunden. Die zweite Brennstoffzuführung 22 erlaubt eine Regelung der Menge des zu den zweiten Brennstoffdüsen 18 strömenden Brennstoffs/ Brenngases. Die zweite Brennstoffmenge umfasst dabei den Großteil der Gesamtbrennstoffmenge und wird daher auch als Hauptbrennstoffmenge oder Hauptgas bezeichnet. Die Regelbarkeit des Hauptgases ist mit dem Symbol 42 in Fig. 1 dargestellt.

[0043] Die zweiten Brennstoffdüsen 18 liegen innerhalb des Brennerrohrs 12. Die zweiten Brennstoffdüsen 18 können am stromabwärts liegenden Ende des Brennerrohrs 12 liegen und mit diesem abschließen. Die zweiten Brennstoffdüsen 18 können gleichmäßig über den Innenumfang des Brennerrohrs 12 verteilt liegen. In Fig. 1 nicht dargestellt ist eine ringförmige Deltascheibe, die einen Abstand zwischen Brennerrohr 12 und zweiten Brennstoffdüsen 18 am stromabwärts liegenden Ende des Brennerrohrs ausfüllen kann. Die Deltascheibe ist mit Bezug auf Fig. 4-6 näher erläutert.

[0044] Die zweiten Brennstoffdüsen 18 sind ausgestaltet, eine hohe Brennstoffaustrittsgeschwindigkeit zu gewährleisten. Der dadurch entstehende Impuls transportiert den Brennstoff möglichst weit in den Brennraum und bildet eine vom Brennkopf 10 beabstandete Verbrennungszone aus. Das Hauptgas kann im Wesentlichen in Strömungsrichtung, also parallel der Längsachse des Brennerrohrs 12 abgegeben werden. Die zweiten Brennstoffdüsen 18 können hierfür eine Öffnung an einer Stirnseite aufweisen. Eine Blende kann die Öffnung an der Stirnseite bestimmen. Die Ausgestaltung der zweiten Brennstoffdüsen 18 führt zu einer Ausbildung der Haupt-

flamme oder Hauptflammenfront 26, die vom stromabwärts gelegenen Ende des Brennkopfs 10 beabstandet ist und stabil im nicht näher dargestellten Brennraum ausgebildet ist. Die Hauptflamme 26 kann aufgrund der Anordnung der zweiten Brennstoffdüsen mit koaxialer Ausströmrichtung bezogen auf die Brennerrohrachse eine schlank und gestreckt ausgebildete Flammenform aufweisen. Eine interne Abgasrezirkulation, die weiter unten näher erläutert wird, kann Abgase in die heißen Zonen der Hauptflamme 26 und damit in die Bereiche größter NO-Produktion injizieren. Hiermit wird die NO-Produktion in der Hauptflamme reduziert.

[0045] Die Brennstoffzuführungen können so ausgestaltet und angeordnet sein, dass eine Zündenergie für die beabstandete Hauptflamme 26 aus der Primärflamme und rezirkulierten Abgasen zur Verfügung gestellt wird, um das Gemisch aus Hauptbrennstoff, Verbrennungsluft oder allgemein Oxidationsmittel und rezirkuliertem Abgas zu zünden und einen kontinuierlichen, stabilen Fortschritt der Oxidationsreaktionen sicherzustellen.

[0046] Beide Gasanschlüsse, das heißt Brennstoffzuführung 20 für Primär- und Stützgas für die Primärflamme 24 und Brennstoffzuführung 22 für das Hauptgas für die Hauptflamme 26 werden in der gezeigten Ausführungsform durch Gasregleinrichtungen 40 und 42 separat geregelt. Dadurch können die Gasmenge in der Primärflamme 24 und in der Hauptflamme 26 separat voneinander eingestellt und somit die Stöchiometrie in der jeweiligen Verbrennungszone individuell geregelt werden. Das erlaubt die Einstellung einer stabilen und überstöchiometrischen primären Verbrennungszone und damit die Ausbildung einer nahezu NO-freien Primärflamme 24 über einen weiten Lastbereich sowie die Anpassung an verschiedene Feuerräume.

[0047] Fig. 2 zeigt schematisch in einer perspektivischen Ansicht Teile eines Brennkopfs 10a von einer Brennstoffzuführungsseite. Brennkopf 10a kann die gleichen Merkmale aufweisen, wie für den in Fig. 1 dargestellten Brennkopf 10 geschildert. Brennkopf 10a kann eine Implementierung des Brennkopfs 10 darstellen. Es werden daher gleiche Bezugszeichen wie in Fig. 1 verwendet. Die Beschreibung der Fig. 2 beschränkt sich im Wesentlichen auf Details, die aus der Darstellung der Fig. 1 nicht hervorgehen. In der Fig. 2 ist das Brennerrohr 12 nicht dargestellt.

[0048] Die zweite Brennstoffzuführung 22 des Brennkopfs 10a ist als Rohr ausgeführt, das einen Anschlussflansch 44 zum Anschluss an eine Brennstoffversorgung aufweist. Von der zweiten Brennstoffzuführung 22 gehen kleinere Rohre 46 oder Hauptgaslanzen 46 ab. Die Hauptgaslanzen 46 leiten den Brennstoff aus der zweiten Brennstoffzuführung 22 zu den zweiten Brennstoffdüsen 18 und schließen mit diesen ab. Der Brennkopf 10a weist in der dargestellten Ausführungsform sechs zweite Brennstoffdüsen 18 auf. Die Hauptgaslanzen 46 verlaufen außerhalb des Drallkörpers 30.

[0049] Die zweite Brennstoffzuführung 22 geht über in

ein Brennstoffrohr 48, das den Drallkörper 30 mittig parallel zu der Längsachse des Drallkörpers 30 durchlaufen kann. Das Brennstoffrohr 48 ist vorzugsweise als ein zentrales Brennstoffrohr ausgeführt. Das Brennstoffrohr 48 führt im ersten stromaufwärts gelegenen Bereich des Hauptgas. Stromabwärts der Abzweigung der Hauptgaslanzen 46 dichtet ein Gastrennblech 50 die zweite Brennstoffzuführung 22 von dem nachfolgenden Brennstoffrohr 48 ab. Das Gastrennblech 50 ist in der zweiten Brennstoffzuführung 22/ dem Brennstoffrohr 48 angeordnet und liegt im Wesentlichen senkrecht zu einer Längsachse der zweiten Brennstoffzuführung 22/ des Brennstoffrohrs 48.

[0050] Stromabwärts des Gastrennblechs 50 mündet die erste Brennstoffzuführung 20 in das Brennstoffrohr 48. Stromabwärts des Gastrennblechs 50 dient das Brennstoffrohr 48 also der Führung der ersten Brennstoffmenge. Stromabwärts des Gastrennblechs 50 gehen kleinere Rohre 52, die sogenannten Stützgaslanzen ab. Die Stützgaslanzen 52 leiten den Brennstoff aus der ersten Brennstoffzuführung 20 zu den Stützgasdüsen 16b. Der Brennkopf 10a weist in der dargestellten Ausführungsform drei Stützgasdüsen 16b auf. Die Stützgasdüsen 16b liegen innerhalb des Drallkörpers 30. Neben der Stützgasdüse 16b sind die Drallschaufeln 32 zu erkennen.

[0051] Fig. 2 ist auch eine beispielhafte Form des Drallkörpers 30 zu entnehmen. In dem ersten Bereich 38 mit den Drallschaufeln 32 und den Stützgasdüsen 16b ist der Drallkörper 30 zylindrisch mit einem ersten Durchmesser ausgestaltet. In dem zweiten Bereich 38 ohne Drallschaufeln ist der Drallkörper 30 zylindrisch mit einem zweiten Durchmesser ausgestaltet. Der erste Durchmesser ist in einer Ausführungsform größer als der zweite Durchmesser. Beide Bereiche 36, 38 können dann durch einen konischen Bereich miteinander verbunden sein.

[0052] Drallkörper 30 ist über ein Drallkörperinnenrohr 54 auf dem Brennstoffrohr 48 verschiebbar montiert, was beispielsweise eine Anpassung an verschiedene Feuerungsgeometrien und Prozessparameter erlaubt. Durch das axiale Verschieben des Drallkörpers 30 auf dem Brennstoffrohr 48 kann der Verhältnis der Luftmengen, welche durch den Drallkörper 30 strömt und welche aus dem Spalt austritt, der durch den äußeren Durchmesser des Drallkörpers im Bereich 38 und dem inneren Durchmesser der Deltascheibe 66 gebildet wird, in Grenzen beeinflusst werden.

[0053] Auch wenn in Fig. 2 das Brennerrohr 12 nicht gezeigt ist, ist zu verstehen, dass die Verbrennungsluft 28 in der Darstellung der Fig. 2 von rechts vorn nach hinten links strömt und zwar sowohl durch den Drallkörper 30 als auch außerhalb des Drallkörpers 30. Die Hauptgaslanzen 46 befinden sich im Luftstrom.

[0054] Fig. 3 zeigt schematisch in einer perspektivischen Ansicht den Brennkopf 10a von einer Flammenseite aus. Bereits mit Bezug auf Figuren 1 und 2 geschilderte Teile werden nicht erneut ausführlich beschrie-

ben. Alle bisher beschriebenen Merkmale gelten auch für den Brennkopf 10a wie in Fig. 3 dargestellt. In Fig. 3 ist der konische Teil des Drallkörpers 30 nicht dargestellt und Teile des Drallkörpers 30, die den stromabwärts gelegenen Bereich 38 umschließen, sind weggeschnitten, um die Darstellung innerhalb des Drallkörpers 30 liegender Teile zu erlauben. Wie in Fig. 2 ist das Brennerrohr 12 nicht gezeigt.

[0055] Zum Starten des Verbrennungsvorgangs kann eine direkte, elektrische Zündung 56 vorgesehen sein, die nur anfänglich zum (z.B. erstmaligen) Zünden verwendet wird. Hat sich eine Flamme gebildet und stabilisiert, erfolgt die weitere Zündung des Brennstoff-Luftgemisches durch Rückwirkung aus der Flamme. In einer Ausführungsform ist die Zündeinrichtung 56 an einer der Stützgasdüsen 16b befestigt.

[0056] Das Brennstoffrohr 48 endet in der dargestellten Ausführungsform stromabwärts in einem zylinderförmigen Brennstoffverteiler 58. Der Brennstoffverteiler 58 kann auch als Primärgasverteiler 58 bezeichnet werden, da an dieser Stelle das Brennstoffrohr 48 nur noch das Primärgas führt. An dem Primärgasverteiler 58 sind in der Ausführungsform vier Primärgasdüsen 16a strahlenförmig an einer Mantelfläche des Primärgasverteilers 58 angeordnet. Die Primärgasdüsen 16a sind in gleichmäßigen Abständen angeordnet und weisen von dem Brennstoffrohr 48 bzw. von dem Primärgasverteiler 58 weg hin zu dem nicht dargestellten Brennerrohr 12.

[0057] Die Primärgasdüsen 16a können Bohrungen 60 aufweisen. Jede Primärgasdüse 16a kann mehrere Bohrungen 60 aufweisen. Dargestellt sind zwei Bohrungen 60. Es können aber auch mehr oder weniger Bohrungen sein. Die Bohrungen 60 sind so an den Primärgasdüsen 16a angeordnet, dass das Primärgas im Wesentlichen in eine tangential Richtung ausströmt. Die Orientierung der Bohrungen 60 kann so mit der Anordnung und Ausgestaltung der Drallschaufeln 32 abgestimmt sein, dass das Primärgas mit der Strömung des in dem ersten Bereich 36 verdrahten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemisches abgegeben wird. Das Primärgas strömt aus den seitlichen Bohrungen in eine tangential Richtung aus, die von der Drallrichtung vorgegeben ist. Zusätzlich oder alternativ können die Primärgasdüsen 16a eine axiale Bohrung aufweisen, aus der ebenfalls Primärgas strömt.

[0058] Die zweiten Brennstoffdüsen 18 oder auch Hauptgasdüsen, sind kreisförmig um das stromabwärts liegende Ende des Drallkörpers 30 angeordnet. Sie weisen Bohrungen 62 an ihren Stirnseiten auf. Die Bohrungen 62 sind ausgestaltet eine hohe Brennstoffaustrittsgeschwindigkeit des Hauptgases zu gewährleisten, so dass sich die Hauptflammenfront 26 beabstandet von dem Brennkopf ausbildet.

[0059] Fig. 4 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines Brennkopfs 10b. Brennkopf 10b kann dem Brennkopf 10 und/oder dem Brennkopf 10a entsprechen. Bereits mit Bezug auf Figuren 1 bis 3 geschilderte Teile werden nicht erneut ausführlich beschrieben. In der Sei-

tensicht sind einzelne Teile weggeschnitten, um Einzelheiten besser darzustellen. Der zum Betrachter hinweisende Teil des Drallkörpers 30 ist weggeschnitten, damit der innere Aufbau erkenntlich ist. Der Bereich der Einmündung der ersten Brennstoffzuführung 20 in das Brennstoffrohr 48 ist aufgeschnitten.

[0060] In der Seitenansichtsdarstellung der Fig. 4 sind Bohrungen 64 an den Primärgasdüsen 16a sichtbar. Die Bohrungen 64 sind ausgestaltet, den Brennstoff im Wesentlichen in radialer Richtung nach innen abzugeben. Die Primärgasdüsen können zusätzlich oder alternativ auch axiale Bohrungen aufweisen.

[0061] In Fig. 4 ist auch das Brennerrohr 12 dargestellt. Das Brennerrohr 12 kann an seinem stromabwärts gelegenen Ende durch eine ringförmige Deltascheibe 66 abgeschlossen sein, die sich von dem Brennerrohr 12 radial nach innen erstreckt. Die Deltascheibe 66 weist in der dargestellten Ausführungsform eine Mehrzahl von radial nach innen weisenden Leiteinrichtungen 68 auf. Die Öffnungen der zweiten Brennstoffdüsen 18 können bündig mit der Deltascheibe 66 abschließen. Die Ausgestaltung der Deltascheibe 66, die mit Bezug auf Fig. 6 ausführlicher beschrieben wird, dient einer internen Abgasrezirkulation in der Hauptflamme 26. Die Rezirkulation kann dabei durch den Teil der Verbrennungsluft 28 bewirkt werden, der an der Dralleinrichtung 14 vorbeiströmt und direkt auf den Ring der ringförmigen Deltascheibe 66 trifft. An den Leiteinrichtungen 68 bilden sich dadurch abstromseitig, das heißt an den in den Brennraum weisenden Seiten der Leiteinrichtungen 68, Unterdruckzonen und Wirbelgebiete aus. Die dadurch rückgeführten Abgase werden dabei in die heißen Zonen der Hauptflamme 26 injiziert. In diesen Zonen wird durch das rezirkulierte Abgas die Temperatur verringert und der O₂-Partialdruck reduziert. Beide Effekte tragen zur Verringerung der NO-Bildung, bzw. NO-Bildung bei.

[0062] Die Brennstoffmenge aus den Primärgasdüsen 16a und den Stützgasdüsen 16b ist klein im Verhältnis zur Brennstoffmenge, welche aus den zweiten Brennstoffdüsen 18 austritt. Sie beträgt vorzugsweise 3% bis 15 %, besonders bevorzugt 5% bis 10% der Gesamtbrennstoffmenge.

[0063] Der für die vollständige Verbrennung der Brennstoffteilmengen aus den Primärgasdüsen 16a, den Stützgasdüsen 16b und aus den Brennstoffdüsen 18 notwendige Luftüberschuss kann in Ausführungsformen zwischen 1,075 und 1,2 liegen. Die Verbrennungszonen der Primärflamme und der beabstandeten Hauptflamme sind jeweils überstöchiometrisch. Lokal kann es aufgrund des axial in den Feuerraum eintretenden Brennstoffstroms aus den zweiten Brennstoffdüsen 18 zur Bildung unterstöchiometrischer Zonen kommen, bevor sich Brenngas und Luft sowie rezirkuliertes Abgas ausreichend durchmischt haben.

[0064] Die Minderung der NO-Werte ergibt sich durch die extrem NO-arme Verbrennung in der teilvorgemischten sehr mageren Primärflamme in Kombination mit der beabstandeten Hauptflamme, welche durch die intensi-

ve Einmischung intern rezirkulierter Abgase sowie die Absenkung des O₂-Partialdruckes im Gemisch keine für die NO-Bildung schädlichen hohen Temperaturen ausbilden kann. Vorteilhaft ist die Bildung einer schlanken, aber dennoch nicht zu langen Flamme, welche die bei der Verbrennung des Brennstoffes freigesetzte Wärme aus Umwandlung der chemischen Enthalpie an die gekühlten Umfassungswände des Feuerraumes effizient durch Strahlung und Konvektion auskoppelt.

[0065] Fig. 5 zeigt schematisch eine Schnittansicht eines vorderen Abschnitts des Brennkopfs 10b. Bereits mit Bezug auf Figuren 1 bis 4 geschilderte Teile werden nicht erneut ausführlich beschrieben.

[0066] Sichtbar ist das Drallkörperinnenrohr 54, das über dem Brennstoffrohr 48 geführt ist. Damit ist der Drallkörper längsverschiebbar und kann mit einer Schraube 70 in seiner Position fixiert werden. Die Verschiebbarkeit erlaubt eine bessere Anpassung an verschiedene Brennräume, in denen sich die Hauptflammenfront 26 ausbildet.

[0067] Die durchbrochene Trennwand 34 ist im Bereich 38 angeordnet. Die durchbrochene Trennwand 34 ist so positioniert und ausgestaltet, dass in der beschriebenen Ausführungsform die Primärflamme 24 sicher im Bereich 38 des Drallkörpers 30 stabilisiert oder gehalten wird.

[0068] Fig. 6 zeigt schematisch eine Vorderansicht des Brennkopfs 10b von der Flammenseite aus oder in anderen Worten von dem Brennraum aus. Mittig angeordnet liegt der Brennstoffverteiler 58, von dem sich die Primärgasdüsen 16a mit ihren Bohrungen 60 wegerstrecken. Dahinter liegt die durchbrochene Trennwand 34. Die Durchbrüche sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel durch zwei konzentrische Lochreihen realisiert, wobei die Löcher kreisrund sind. Es ist zu verstehen, dass die Durchbrüche auch eine andere Form aufweisen können. Auch kann das Verhältnis der Öffnungsflächen zur Gesamtfläche anders sein als dargestellt. Die durchbrochene Trennwand 34 dient zum Herabsetzen der Strömungsgeschwindigkeit des verdrallten Luft-/ Brennstoffgemischs aus dem Bereich 36 des Drallkörpers 30. Die Trennwand 34 ist durch die Wandung des Drallkörpers 30 begrenzt. Durch die Durchbrüche hindurch sind die dahinterliegenden Stützgasdüsen 16b zu erkennen.

[0069] In gleichmäßigen Abständen auf einem Kreis um die Mittelachse des Drallkörpers 30 liegend sind die zweiten Brennstoffdüsen 18 mit ihren Bohrungen 62 angeordnet. Darum herum ist die ringförmige Deltascheibe 66, die das Brennerrohr 12 abschließt. Von dem Innenumfang der Deltascheibe 66 erstrecken sich die Leiteinrichtungen 68 in radialer Richtung nach innen. In der dargestellten Ausführungsform sind drei Leiteinrichtungen 68 vorgesehen. Die drei Leiteinrichtungen 68 sind gleichmäßig auf den Innenumfang verteilt. Der Brennkopf 10b kann auch mehr oder weniger Leiteinrichtungen 68 aufweisen, die dann ebenfalls gleichmäßig auf den Innenumfang verteilt sein können. Die Leiteinrichtungen 68 sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel von

dreieckförmiger Gestalt und weisen mit einer Spitze in radialer Richtung nach innen. Die Dreiecke weisen mit einer Spitze von der ringförmigen Deltascheibe 66 weg. Wie aus Fig. 5 ersichtlich, liegen die Leiteinrichtungen 68 nicht in der Zeichenebene der Fig. 6, sondern weisen vom Drallkörper 30 weg. Sie sind abgewinkelt.

[0070] Die Leiteinrichtungen 68 mit der Deltascheibe 66 sind so ausgebildet, dass sie die Ausbildung einer Unterdruckzone bewirken, welche Abgase aus dem Brennraum ansaugen. Deltascheibe 66 und Leiteinrichtungen 68 führen somit zu einer internen Abgasrezirkulation. Die Formgebung in der Art eines gewinkelten, vom Drallkörper wegweisenden Dreiecks führt zu "stehenden Wirbeln" an den Leiteinrichtungen 68, die zur Stabilisierung der Hauptflammenfront 26 beitragen. Folglich werden die rückgeführten Abgase in die heißen Zonen der Hauptflamme und damit in die Bereiche größter NO-Produktion injiziert.

[0071] Die Geometrie der Leiteinrichtungen 68 wurde dahingehend optimiert, dass eine möglichst hohe interne Abgasmenge in die Hauptflamme 26 eingezogen wird. Dabei sind sowohl Anzahl als auch Geometrie der Leiteinrichtungen 68 sowohl für die Wirkung der NO-Absenkung als auch für die Stabilität der Hauptflamme zu berücksichtigen.

[0072] Die ringförmige Deltascheibe 66 kann an ihrem Innenumfang zwischen den Leiteinrichtungen 68 eine Vielzahl von Ausbuchtungen 72 aufweisen. Die Ausbuchtungen 72 bilden eine verzahnte Geometrie. In Fig. 6 sind halbkreisförmige Ausbuchtungen dargestellt, aber die Verzahnung kann mit anderen Geometrien ausgebildet sein. Die Verzahnung 72 ist ausgestaltet, um eine größere Oberfläche zu erzeugen. Die größere Oberfläche führt zu einer größeren Kontaktfläche zwischen Abgas, Verbrennungsluft und Hauptbrennstoff, wodurch eine intensivere und gleichmäßigere Mischung des Brennstoff-Luft-Abgas-Gemischs erzeugt wird. Dadurch kann sich in der Hauptflamme 26 eine gleichmäßigere Verteilung mit Abgas angereicherter und somit stöchiometrisch günstigerer Verbrennungszonen ausbilden. Die Erfinder haben herausgefunden, dass hierdurch die Bildung des thermischen NO insgesamt weiter reduziert wird.

[0073] Wie bereits erwähnt, sind die zweiten Brennstoffdüsen 18 so ausgeformt, dass möglichst hohe Austrittsgeschwindigkeiten erreicht werden. Hierfür kann eine Blende vor der axialen Öffnung der Brennstoffdüse vorgesehen sein. Durch den hohen Impuls des ausströmenden Gases kann die Intensität der Mischung aus intern rezirkuliertem Abgas und Brennstoff weiter vorangetrieben werden. Eine weitere Optimierung erfolgt durch die Position der zweiten Brennstoffdüsen 18 in Abstimmung mit der Geometrie der Leiteinrichtungen 68. Die zweiten Brennstoffdüsen 18 liegen gleichmäßig verteilt zwischen den Leiteinrichtungen 68.

[0074] Im Betrieb wird die vorteilhafte, stickstoffarme Verbrennung erreicht, indem zunächst dem Brennerrohr 12 mit einem stromabwärts gelegenen offenen Ende

Verbrennungsluft 28 zugeführt wird. Ein Teil der Verbrennungsluft 28 wird in der in dem Brennerrohr 12 angeordneten Dralleinrichtung 14 verdreht. Eine erste Brennstoffmenge wird direkt in den Drallkörper 30 zugeführt und dort mit der verdrehten Verbrennungsluft 28 vermischt. Eine Primärflamme wird in dem verdrehten Brennstoff-/Verbrennungsluftgemischs innerhalb des Drallkörpers gebildet. Eine zweite Brennstoffmenge wird stromabwärts der Dralleinrichtung 14 zugeführt. Eine Hauptflammenfront wird ausgebildet, die sich stromabwärts des Brennerrohrs und beabstandet von dem Brennerrohr stabilisiert. Dabei erfolgt ein Regeln der ersten Brennstoffmenge unabhängig von der zweiten Brennstoffmenge.

[0075] Die separate Brennstoffregelung erlaubt es, in einem großen Lastbereich eine sehr geringe NO-Emission zu erreichen. Bei niedrigerer Last kann ein anderes Verhältnis von erster Brennstoffmenge zu zweiter Brennstoffmenge optimal sein als bei hoher Last. Bei fest eingestelltem Verhältnis der beiden Brennstoffmengen zueinander, kann ein niedriger NO Ausstoß nicht über den gesamten Lastbereich des Brenners gewährleistet sein. Bei dem erfindungsgemäßen Brennkopf kann beispielsweise bei niedriger Last prozentual zum Hauptgasweniger Primärgas/ Stützgas zugeführt werden, als bei hoher Last. Bei einer nicht getrennten Regelbarkeit sinkt strömungstechnisch bedingt bei niedrigerer Last die erste Brennstoffmenge im Verhältnis geringer ab als die Luftmenge die durch den Drallkörper strömt, sodass die NO-Emissionen bei niedrigerer Last auch bei einer überstöchiometrischen Primärflamme zunehmen können.

[0076] Wenngleich spezifische Ausführungsformen dargestellt und beschrieben worden sind, versteht der Durchschnittsfachmann, dass eine Vielzahl alternativer und/ oder äquivalenter Implementierungen für die gezeigten und beschriebenen spezifischen Ausführungsform substituiert werden können, ohne von dem in den Ansprüchen definierten Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Die vorliegende Anmeldung soll alle Adaptionen oder Variationen der hierin erörterten spezifischen Ausführungsformen in den Grenzen des in den Ansprüchen definierten Schutzbereichs abdecken.

Patentansprüche

1. Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes unter Zuführung von Verbrennungsluft (28) in ein Brennerrohr (12), umfassend:

- Zuführen einer ersten Brennstoffmenge zur Ausbildung einer stark überstöchiometrischen Primärflamme (24) innerhalb des Brennerrohrs (12) mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0;
- Zuführen einer zweiten Brennstoffmenge stromabwärts zur Ausbildung einer schwach

überstöchiometrischen Hauptflamme (26) in einem Feuerraum, wobei eine Temperatur der Hauptflamme (26) durch feuerraumintern rezirkulierte Abgase herabgesetzt ist, und wobei sich die Hauptflamme (26) stromabwärts des Brennerrohrs stabilisiert, wobei

die Hauptflamme (26) schwach überstöchiometrisch ist, vorzugsweise mit einer Stöchiometrie zwischen 1,03 und 1,18, und das Zuführen der zweiten Brennstoffmenge in den Feuerraum mit einer hohen Brennstoffaustrittsgeschwindigkeit erfolgt, so dass sich aufgrund des dadurch entstehenden Impulses die Hauptflamme (26) beabstandet von dem Brennerrohr (12) stabilisiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend:

- Regeln der ersten Brennstoffmenge unabhängig von der zweiten Brennstoffmenge, wobei die Regelung so erfolgt, dass die erste Brennstoffmenge etwa zwischen 3 % und 15 %, vorzugsweise zwischen 5 % und 10 % der Summe der ersten Brennstoffmenge und der zweiten Brennstoffmenge beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, ferner umfassend:

- Verdrallen eines Teils der Verbrennungsluft (28) zur Erzeugung einer verwirbelten Verbrennungsluft,
- Zuführen einer ersten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in den Bereich der verwirbelten Verbrennungsluft zur Ausbildung eines verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemischs;
- Herabsetzen einer Strömungsgeschwindigkeit des verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemischs; und
- Zuführen einer zweiten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in das verlangsamte verwirbelte magere Luft-/ Brennstoffgemisch.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei das Zuführen wenigstens eines Teils der ersten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in radialer Richtung nach innen erfolgt.

5. Verfahren gemäß Anspruch 3 oder Anspruch 4, wobei das Zuführen wenigstens eines Teils der zweiten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in tangentialer Richtung mit der Strömung des verdrallten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs erfolgt.

6. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, ferner umfassend:

- Ausbilden von Wirbeln, insbesondere stehen-

den Wirbeln im Bereich der Zuführung der zweiten Brennstoffmenge, so dass Abgase in die heißen Zonen der Hauptflammenfront (26) rückgeführt werden.

7. Brennkopf (10) zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes, aufweisend:

ein Brennerrohr (12), ausgebildet um von Verbrennungsluft (28) durchströmt zu werden, wobei das Brennerrohr (12) ein stromabwärts gelegenes offenes Ende aufweist; eine Dralleinrichtung (14), die innerhalb des Brennerrohrs (12) angeordnet ist, um von einem Teil der Verbrennungsluft (28) durchströmt zu werden, mit einem Drallkörper (30), der einen ersten und einen zweiten Bereich umschließt, wobei der erste Bereich (36) stromaufwärts von dem zweiten Bereich (38) liegt, und nur in dem ersten Bereich Drallschaufeln (32) angeordnet sind;

erste Brennstoffdüsen (16a, 16b), die innerhalb des Drallkörpers (30) angeordnet sind, um Brennstoff zur Ausbildung einer Primärflamme (24) innerhalb des Drallkörpers (30) zuzuführen; zweite Brennstoffdüsen (18), die stromabwärts der Dralleinrichtung (14) angeordnet sind, um Brennstoff zur Bildung einer freien Hauptflammenfront (26) zuzuführen, wobei die zweiten Brennstoffdüsen (18) so ausgestaltet sind, dass sich die Hauptflammenfront (26) stromabwärts des Brennkopfs (10) und von diesem beabstandet stabilisiert;

eine erste Brennstoffzuführung (20), die mit den ersten Brennstoffdüsen (16a, 16b) verbunden ist; und

eine zweite Brennstoffzuführung (22), die mit den zweiten Brennstoffdüsen (18) verbunden ist, wobei der Drallkörper (30) und die ersten Brennstoffdüsen (16a, 16b) ausgestaltet sind, die Primärflamme (24) mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0 zu erhalten.

8. Brennkopf nach Anspruch 7, wobei sich die Brennstoffmengen des durch die erste Brennstoffzuführung (20) beziehungsweise durch die zweite Brennstoffzuführung (22) zugeführten Brennstoffes voneinander unabhängig regeln lassen.

9. Brennkopf gemäß Anspruch 7 oder 8, wobei die Dralleinrichtung (14) eine durchbrochene Trennwand (34) zwischen dem ersten Bereich (36) und dem zweiten Bereich (38) aufweist.

10. Brennkopf gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die ersten Brennstoffdüsen (16a, 16b) Primärbrennstoffdüsen (16a) umfassen, die im zweiten Be-

reich (38) des Drallkörpers (30) angeordnet sind, und Stützbrennstoffdüsen (16b) umfassen, die im ersten Bereich des Drallkörpers (30) angeordnet sind.

11. Brennkopf gemäß Anspruch 10, wobei die Stützbrennstoffdüsen (16b) gleichmäßig zwischen den Drallschaufeln (32) verteilt und ausgestaltet sind, Brennstoff in radialer Richtung nach innen abzugeben, um ein verdralltes Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemisch zu bilden.

12. Brennkopf gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei die Primärbrennstoffdüsen (16a) gleichmäßig in einem Strahlenkranz verteilt und ausgebildet sind, Brennstoff in tangentialer Richtung mit der Strömung des verdrallten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs abzugeben.

13. Brennkopf nach einem der Ansprüche 10-12, wobei wenigstens ein Teil des Brennstoffaustritts aus den ersten Brennstoffdüsen (16a) über seitliche Bohrungen (60) in den ersten Brennstoffdüsen erfolgt.

14. Brennkopf gemäß einem der Ansprüche 10-13, wobei die erste Brennstoffzuführung (20) über ein Brennstoffrohr (48) in dem Drallkörper (30) mit den Primärbrennstoffdüsen (16a) und den Stützbrennstoffdüsen (16b) verbunden ist, wobei das Brennstoffrohr (48) mit einem Brennstoffverteiler (58) abschließt, an dem die Primärbrennstoffdüsen (16a) befestigt sind.

15. Brennkopf nach Anspruch 14, wobei der Drallkörper (30) auf dem Brennstoffrohr (48) in Längsrichtung verschiebbar angeordnet ist.

16. Brennkopf nach einem der Ansprüche 7-15, ferner aufweisend:
eine ringförmige Deltascheibe (66), die sich von dem stromabwärts gelegenen Ende des Brennerrohrs (12) radial nach innen erstreckt und eine Mehrzahl von radial nach innen weisenden Leiteinrichtungen (68) aufweist.

17. Brennkopf nach Anspruch 16, wobei die ringförmige Deltascheibe (66) an ihrem Innenumfang zwischen den Leiteinrichtungen (68) eine Vielzahl von Ausbuchtungen (72) aufweist.

Claims

1. A method for the stepped combustion of a fuel by supplying combustion air (28) into a burner tube (12), comprising:

- supplying of a first amount of fuel to form a

significantly overstoichiometric primary flame (24) into the burner tube (12), with a stoichiometry greater than 1.5, in particular greater than 2.0;

- supplying a second amount of fuel downstream to form a slightly overstoichiometric main flame (26) into a combustion chamber, wherein a temperature of the main flame (26) is reduced by exhaust gases recirculated within the combustion chamber, and wherein the main flame (26) stabilizes downstream of the burner tube, wherein the main flame (26) is slightly overstoichiometric,

preferably with a stoichiometry between 1.03 and 1.18, and wherein the supply of the second amount of fuel into the combustion chamber takes place with a higher fuel exit speed, such that, due to the resulting impulses, the main flame (26) stabilizes at a distance from the burner tube (12).

2. The method of claim 1, further comprising:

- regulating the first fuel amount independently of the second fuel amount, wherein the regulation is such that the first fuel amount is approximately between 3 % and 15 %, preferably between 5 % and 10 %, of the sum of the first fuel amount and the second fuel amount.

3. The method according to claim 1 or 2, further comprising:

- swirling a part of the combustion air (28) to produce a swirled combustion air;
- supplying a first partial amount of the first fuel amount into the region of the swirled combustion air to form a swirled lean air/fuel mixture;
- reducing a flow velocity of the swirled lean air/fuel mixture; and
- supplying a second partial amount of the first fuel amount into the slowed, swirled lean air/fuel mixture.

4. The method according to claim 3, wherein the supply of at least a part of the first partial amount of the first fuel amount takes place in a radially inward direction.

5. The method according to claim 3 or claim 4, wherein the supply of at least a part of the second partial amount of the first fuel amount takes place in a tangential direction with the flow of the swirled fuel/- combustion air mixture.

6. The method according to any one of the preceding claims, further comprising:

- the formation of vortices, in particular standing

vortices, in the region of the supply of the second fuel amount, such that exhaust gases are returned into the hot zones of the main flame front (26).

7. A combustion head (10) for stepped combustion of a fuel, having:

a burner tube (12), configured to be flowed through by combustion air (28), wherein the burner tube (12) has a downstream open end; a swirl apparatus (14), arranged within the burner tube (12) to be flowed through by a part of the combustion air (28), with a swirl body (30) enclosing a first and a second region, wherein the first region (36) is located upstream of the second region (38), and swirl vanes (32) are arranged only in the first region; first fuel nozzles (16a, 16b), arranged within the swirl body (30) for supplying fuel to form a primary flame (24) within the swirl body (30); second fuel nozzles (18), arranged downstream of the swirl apparatus (14) for supplying fuel to form a free main flame front (26), wherein the second fuel nozzles (18) are configured such that the main flame front (26) stabilizes downstream of the combustion head (10) and at a distance therefrom; a first fuel supply (20), connected to the first fuel nozzles (16a, 16b); and a second fuel supply (22), connected to the second fuel nozzles (18), wherein the swirl body (30) and the first fuel nozzles (16a, 16b) are configured to obtain the primary flame (24) with a stoichiometry greater than 1.5, in particular greater than 2.0.

8. The combustion head according to claim 7, wherein the fuel amounts of the fuel, supplied by the first fuel supply (20) and by the second fuel supply (22), respectively, can be regulated independently of one another.

9. The combustion head according to claim 7 or 8, wherein the swirl apparatus (14) has a perforated partition wall (34) between the first region (36) and the second region (38).

10. The combustion head according to any one of claims 7 to 9, wherein the first fuel nozzles (16a, 16b) comprise primary fuel nozzles (16a), arranged in the second region (38) of the swirl body (30), and auxiliary fuel nozzles (16b), arranged in the first region of the swirl body (30).

11. The combustion head according to claim 10, wherein the support fuel nozzles (16b) are evenly distributed between the swirl vanes (32) and are configured to

discharge fuel in a radially inward direction, to form a swirled fuel/combustion air mixture.

12. The combustion head according to claim 10 or 11, wherein the primary fuel nozzles (16a) are evenly distributed in a spray ring and are configured to deliver fuel in a tangential direction with the flow of the swirled fuel/combustion air mixture.

13. The combustion head according to any one of claims 10-12, wherein at least a part of the fuel exits from the first fuel nozzles (16a) via lateral bores (60) in the first fuel nozzles.

14. The combustion head according to any one of claims 10-13, wherein the first fuel supply (20) is connected, via a fuel pipe (48) in the swirl body (30), to the primary fuel nozzles (16a) and the auxiliary fuel nozzles (16b), wherein the fuel pipe (48) terminates in a fuel distributor (58) to which the primary fuel nozzles (16a) are attached.

15. The combustion head according to claim 14, wherein the swirl body (30) is slidably arranged in the longitudinal direction on the fuel tube (48).

16. A combustion head according to any one of claims 7-15, further comprising: an annular delta disk (66), extending radially inwardly from the downstream end of the burner tube (12) and having a plurality of radially inwardly facing guide apparatuses (68).

17. The combustion head according to claim 16, wherein the annular delta disk (66) has a plurality of bulges (72) on its inner circumference between the guide apparatuses (68).

Revendications

1. Procédé de combustion étagée d'un combustible avec amenée d'air de combustion (28) dans un tube de brûleur (12), comprenant :

- l'amenée d'une première quantité de combustible pour la formation d'une flamme primaire (24) fortement sur-stoechiométrique à l'intérieur du tube de brûleur (12), avec une stoechiométrie supérieure à 1,5, en particulier supérieure à 2,0 ;
- l'amenée d'une deuxième quantité de combustible en aval pour la formation d'une flamme principale (26) faiblement sur-stoechiométrique dans un foyer, dans lequel une température de la flamme principale (26) est abaissée par des gaz d'échappement recirculés à l'intérieur du foyer, et dans lequel la flamme principale (26) se stabilise en aval du tube de brûleur, dans

- lequel la flamme principale (26) est faiblement sur-stoechiométrique, de préférence avec une stoechiométrie entre 1,03 et 1,18, et l'amenée de la deuxième quantité de combustible dans le foyer s'effectue à une vitesse de sortie de combustible élevée, de sorte que la flamme principale (26) se stabilise à distance du tube de brûleur (12) du fait de l'impulsion qui en résulte.
2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre :
- la régulation de la première quantité de combustible indépendamment de la deuxième quantité de combustible, dans lequel la régulation s'effectue de sorte que la première quantité de combustible représente environ entre 3 % et 15 %, de préférence entre 5 % et 10 % de la somme de la première quantité de combustible et de la deuxième quantité de combustible.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre :
- le tourbillonnement d'une partie de l'air de combustion (28) pour la production d'un air de combustion tourbillonnant ;
 - l'amenée d'une première quantité partielle de la première quantité de combustible dans la zone de l'air de combustion tourbillonnant pour la formation d'un mélange air/combustible pauvre tourbillonnant ;
 - l'abaissement d'une vitesse d'écoulement du mélange air/combustible pauvre tourbillonnant ; et
 - l'amenée d'une deuxième quantité partielle de la première quantité de combustible dans le mélange air/combustible pauvre tourbillonnant ralenti.
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'amenée d'au moins une partie de la première quantité partielle de la première quantité de combustible s'effectue dans une direction radiale vers l'intérieur.
5. Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, dans lequel l'amenée d'au moins une partie de la deuxième quantité partielle de la première quantité de combustible s'effectue dans une direction tangentielle par rapport à l'écoulement du mélange combustible/air de combustion tourbillonné.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre :
- la formation de tourbillons, en particulier de tourbillons verticaux dans la zone de l'amenée
- de la deuxième quantité de combustible, de sorte que des gaz d'échappement soient ramenés dans les zones chaudes du front de flamme principal (26).
7. Tête de brûleur (10) pour la combustion étagée d'un combustible, comprenant :
- un tube de brûleur (12) conçu pour être traversé par de l'air de combustion (28), dans laquelle le tube de brûleur (12) présente une extrémité ouverte située en aval ;
 - un dispositif de tourbillonnement (14) qui est agencé à l'intérieur du tube de brûleur (12) pour être traversé par une partie de l'air de combustion (28), avec un corps de tourbillonnement (30) qui entoure une première zone et une deuxième zone, dans laquelle la première zone (36) est située en amont de la deuxième zone (38), et des aubes de tourbillonnement (32) sont agencées uniquement dans la première zone ;
 - des premiers injecteurs de combustible (16a, 16b) qui sont agencés à l'intérieur du corps de tourbillonnement (30) afin d'amener du combustible pour la formation d'une flamme primaire (24) à l'intérieur du corps de tourbillonnement (30) ;
 - des deuxièmes injecteurs de combustible (18) qui sont agencés en aval du dispositif de tourbillonnement (14) afin d'amener du combustible pour la formation d'un front de flamme principal (26) libre, dans laquelle les deuxièmes injecteurs de combustible (18) sont configurés de sorte que le front de flamme principal (26) se stabilise en aval de la tête de brûleur (10) et à distance de celle-ci ;
 - une première amenée de combustible (20) qui est reliée aux premiers injecteurs de combustible (16a, 16b), et
 - une deuxième amenée de combustible (22) qui est reliée aux deuxièmes injecteurs de combustible (18), dans laquelle le corps de tourbillonnement (30) et les premiers injecteurs de combustible (16a, 16b) sont configurés pour obtenir la flamme primaire (24) avec une stoechiométrie supérieure à 1,5, en particulier supérieure à 2,0.
8. Tête de combustion selon la revendication 7, dans laquelle les quantités de combustible du combustible amené par la première amenée de combustible (20) ou par la deuxième amenée de combustible (22) peuvent être régulées indépendamment l'une de l'autre.
9. Tête de combustion selon la revendication 7 ou 8, dans laquelle le dispositif de tourbillonnement (14) présente une paroi de séparation (34) ajourée entre

la première zone (36) et la deuxième zone (38).

10. Tête de combustion selon l'une des revendications 7 à 9, dans laquelle les premiers injecteurs de combustible (16a, 16b) comprennent des injecteurs de combustible primaire (16a) qui sont agencés dans la deuxième zone (38) du corps de tourbillonnement (30) et des injecteurs de combustible de secours (16b) qui sont agencés dans la première zone du corps de tourbillonnement (30). 5
10
11. Tête de brûleur selon la revendication 10, dans laquelle les injecteurs de combustible de secours (16b) sont répartis uniformément entre les aubes de tourbillonnement (32) et configurés pour délivrer du combustible dans une direction radiale vers l'intérieur afin de former un mélange combustible/air de combustion tourbillonné. 15
12. Tête de brûleur selon la revendication 10 ou 11, dans laquelle les injecteurs de combustible primaire (16a) sont répartis uniformément dans une couronne et conçus pour délivrer du combustible dans une direction tangentielle par rapport à l'écoulement du mélange combustible/air de combustion tourbillonné. 20
25
13. Tête de brûleur selon l'une des revendications 10 à 12, dans laquelle au moins une partie de la sortie de combustible depuis les premiers injecteurs de combustible (16a) s'effectue via des alésages (60) latéraux dans les premiers injecteurs de combustible. 30
14. Tête de brûleur selon l'une des revendications 10 à 13, dans laquelle la première amenée de combustible (20) est reliée aux injecteurs de combustible primaire (16a) et aux injecteurs de combustible de secours (16b) via un tube de combustible (48) dans le corps de tourbillonnement (30), dans laquelle le tube de combustible (48) se termine par un distributeur de combustible (58) contre lequel sont fixés les injecteurs de combustible primaire (16a). 35
40
15. Tête de brûleur selon la revendication 14, dans laquelle le corps de tourbillonnement (30) est agencé sur le tube de combustible (48) de manière à pouvoir être déplacé dans la direction longitudinale. 45
16. Tête de brûleur selon l'une des revendications 7 à 15, comprenant en outre : 50
un disque delta (66) annulaire qui s'étend radialement vers l'intérieur depuis l'extrémité située en aval du tube de brûleur (12) et présente une pluralité de dispositifs de guidage (68) orientés radialement vers l'intérieur. 55
17. Tête de brûleur selon la revendication 16, dans

laquelle le disque delta (66) annulaire présente une pluralité de renflements (72) sur son contour intérieur entre les dispositifs de guidage (68).

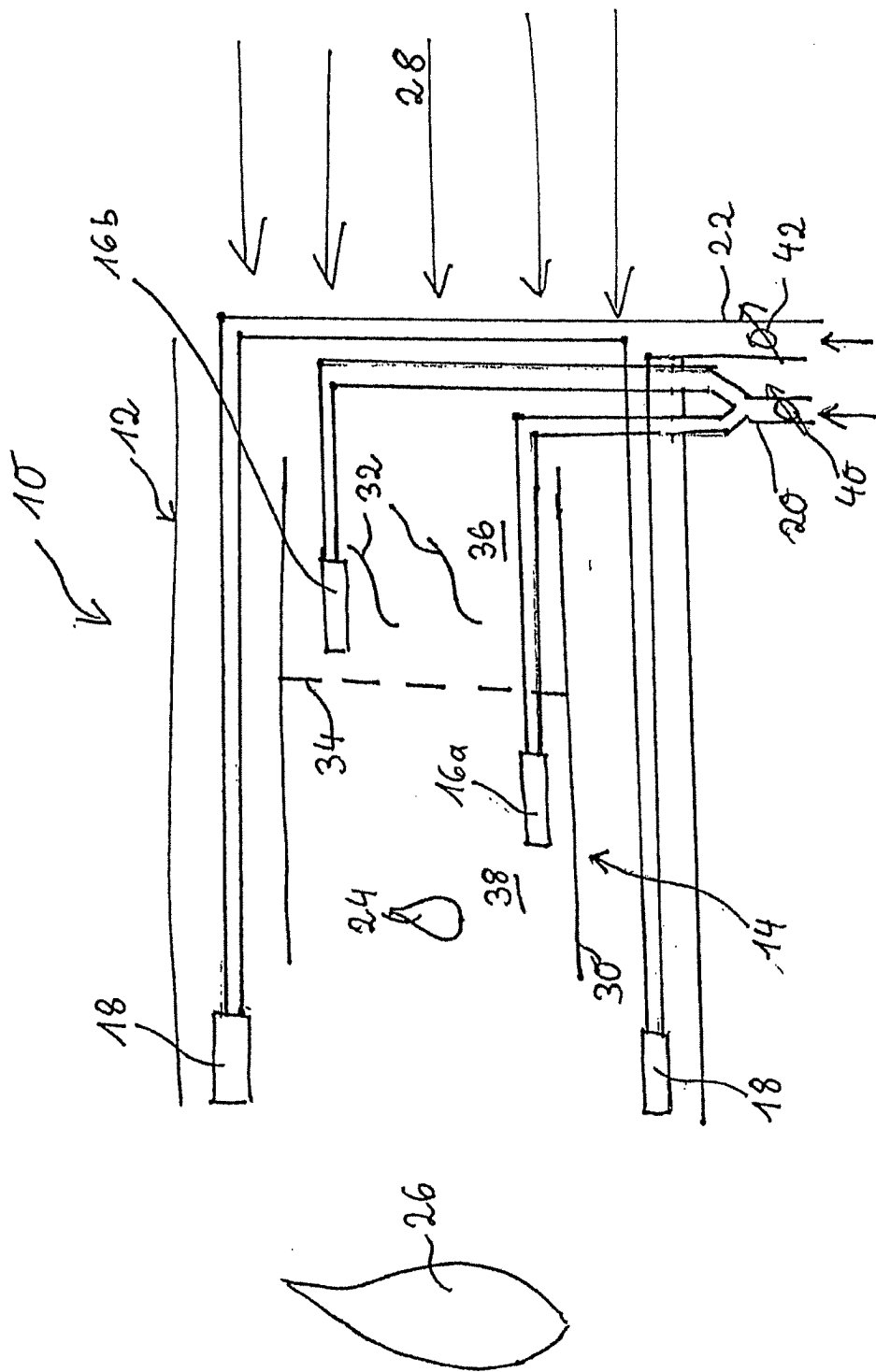


Fig. 1

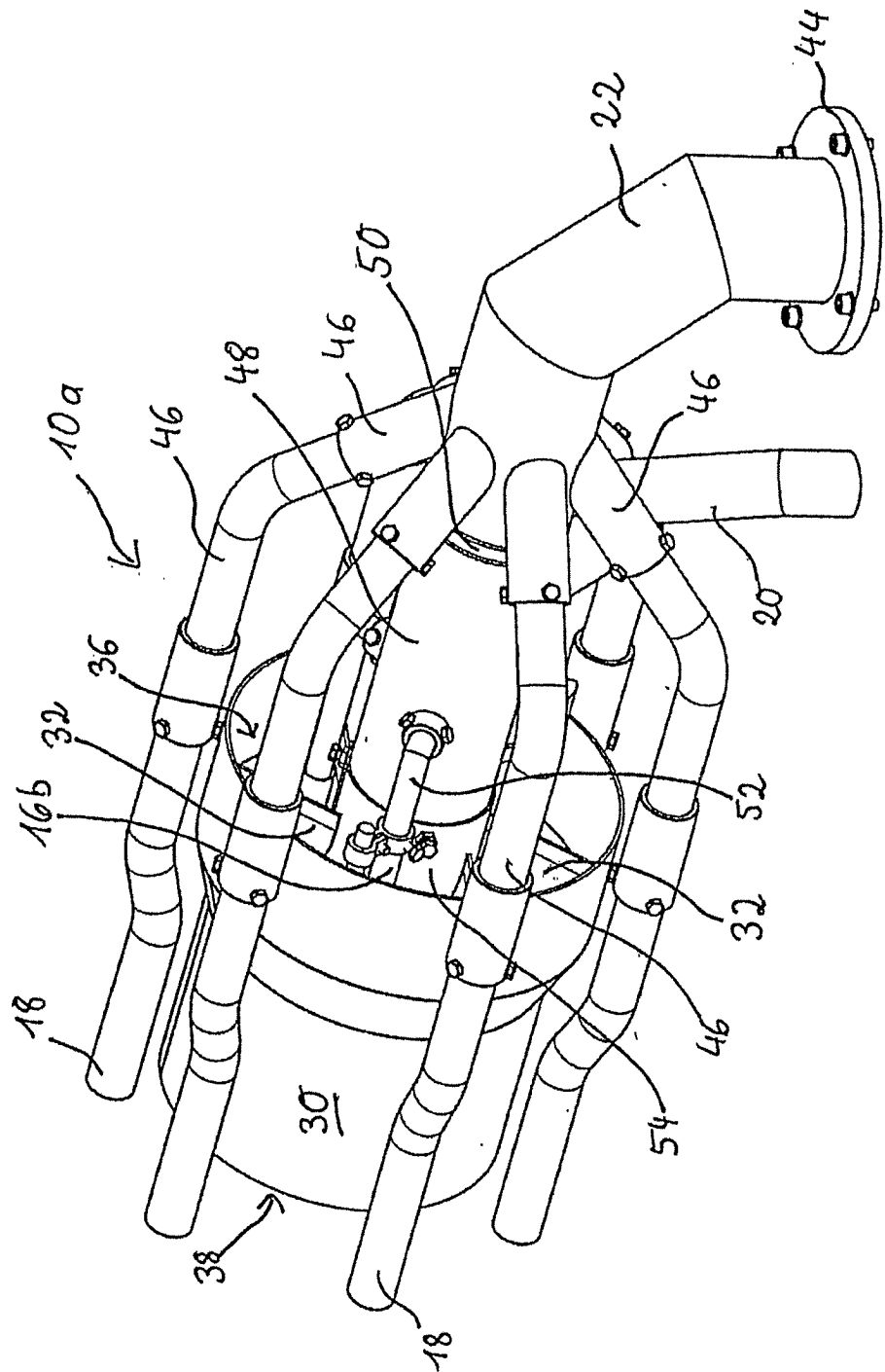


Fig. 2

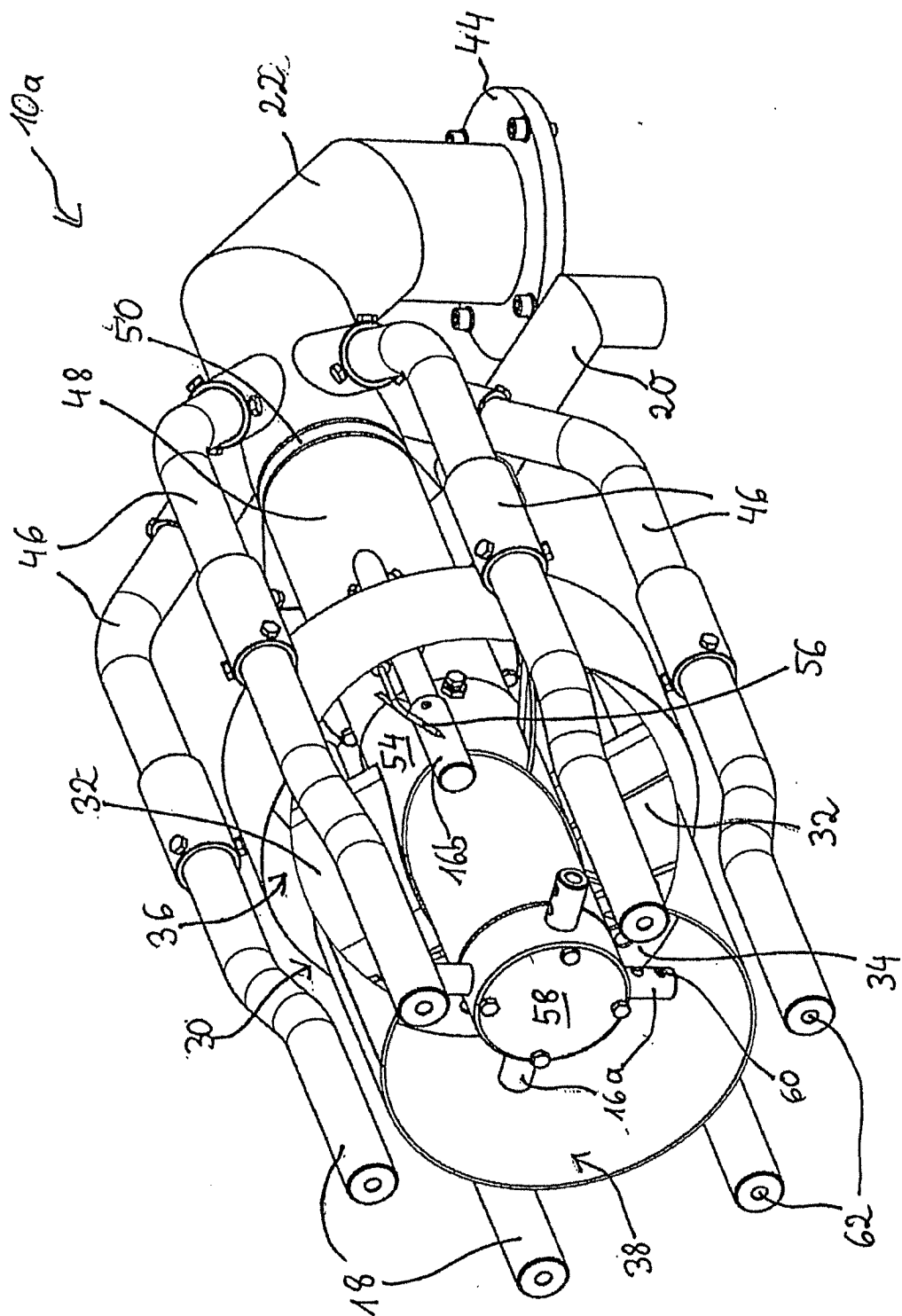


Fig. 3

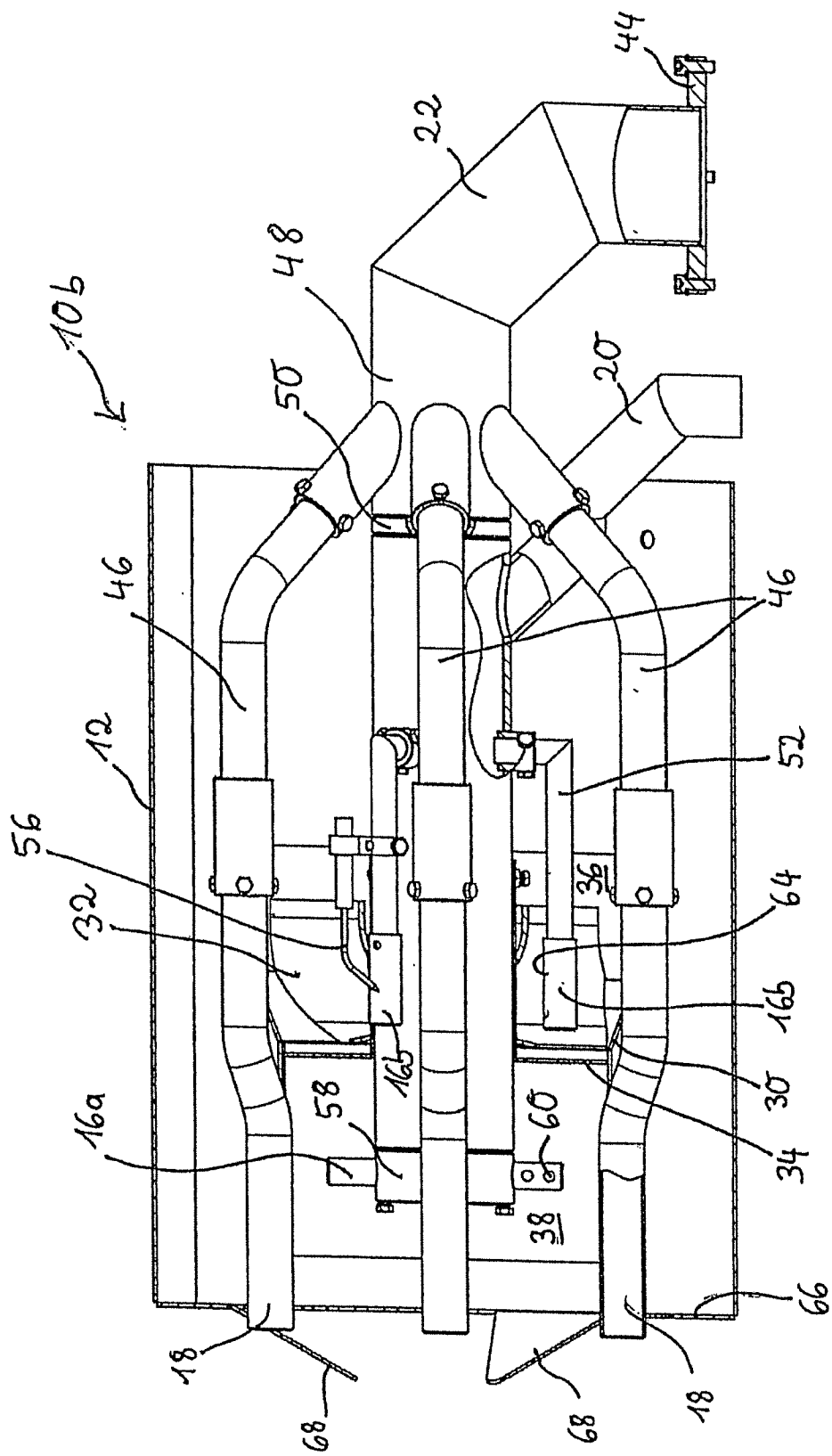


Fig. 4

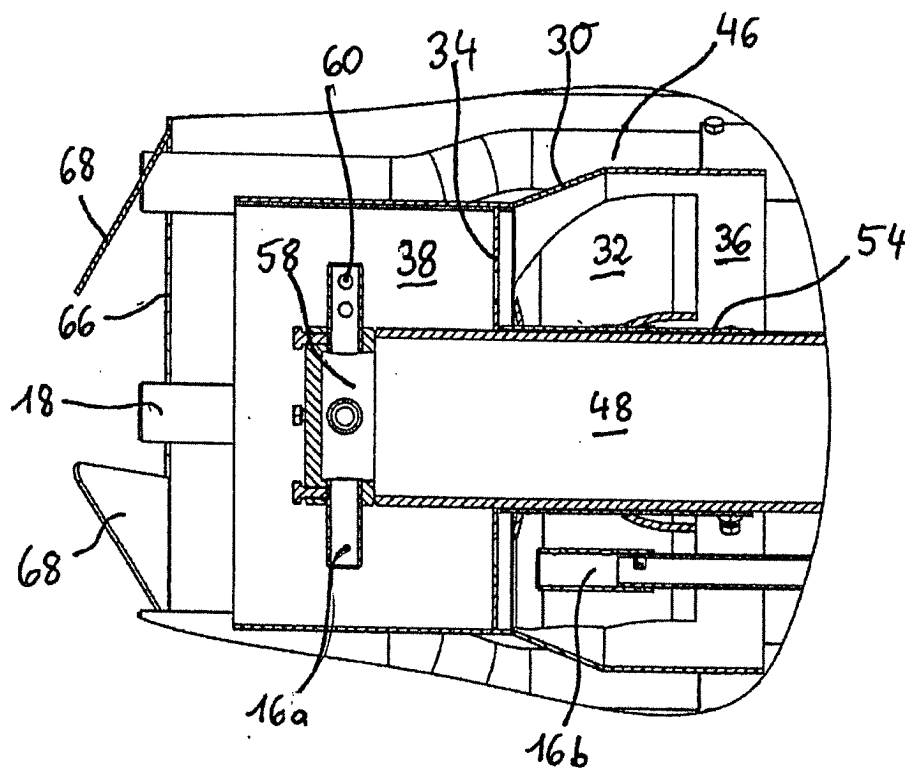


Fig. 5

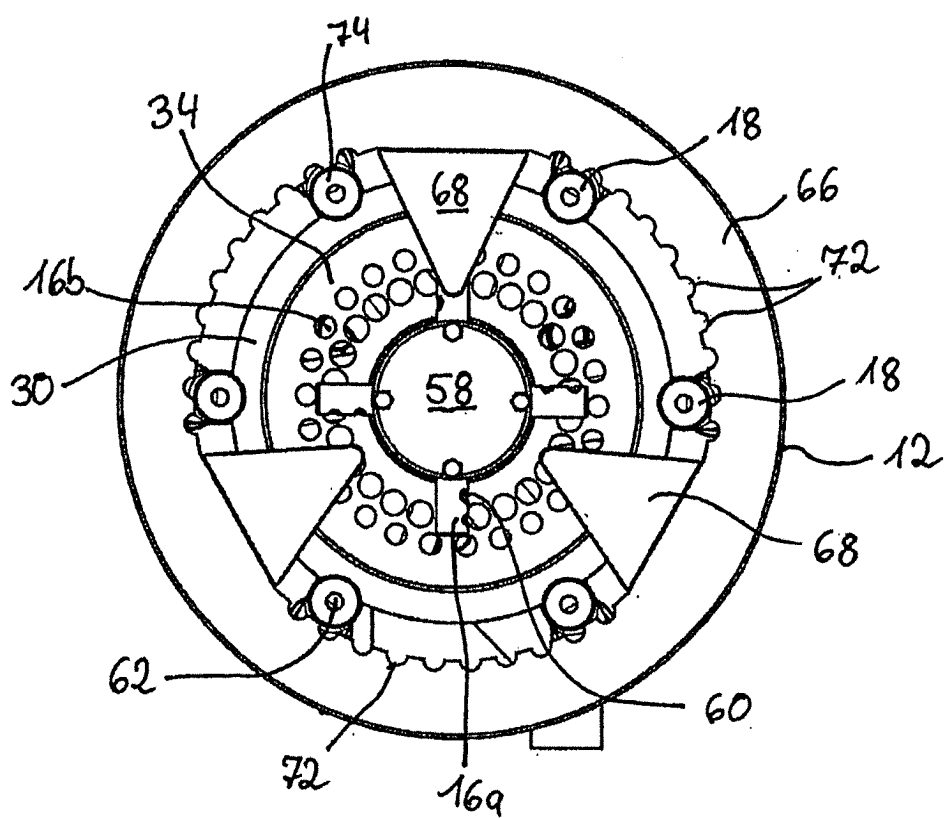


Fig. 6

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 1754937 B1 [0007]
- EP 2037173 B1 [0007]
- DE 19509219 A1 [0007]
- DE 4427104 A1 [0007]
- EP 3078910 B1 [0007]