

(19)



(11)

EP 3 940 293 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.01.2022 Patentblatt 2022/03

(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**

(22) Anmeldetag: **29.06.2021**

(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

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **SCHMIDT, Thomas**
01796 Pirna (DE)
• **HANKA, Kathleen**
01309 Dresden (DE)
• **KRETZSCHMAR, Ronny**
01824 Gohrisch (DE)
• **TOBIAS, Stephan H.**
01796 Pirna (DE)

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

(71) Anmelder: **ELCO Burners GmbH**
01796 Pirna (DE)

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

(54) VERFAHREN ZUR GESTUFTEN VERBRENNUNG EINES BRENNSTOFFES UND BRENNKOPF

(57) Verfahren Brennkopf zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes unter Zuführung von Verbrennungsluft (28) in ein Brennerrohr (12). Eine erste Brennstoffmenge wird zur Ausbildung einer Primärflamme (24) innerhalb des Brennerrohrs zugeführt. Eine zweite Brennstoffmenge wird stromabwärts zur Ausbildung ei-

ner Hauptflammenfront (26) zugeführt. Die Hauptflammenfront (26) stabilisiert sich stromabwärts des Brennerrohrs (12) und beabstandet von dem Brennerrohr (12). Die Brennstoffzuführungen sind so ausgestaltet, dass die Primärflamme (24) mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0 brennt.

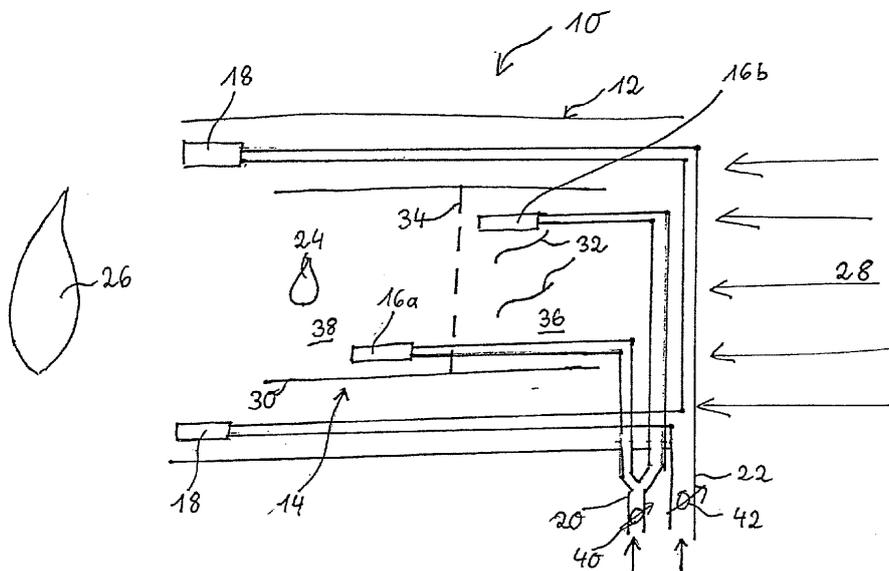


Fig. 1

EP 3 940 293 A1

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.

[0008] Bei einem Brennkopf kann in der Regel zwischen sogenannten Mischzonen und sogenannten Verbrennungszonen unterschieden werden.

[0009] 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 Flammgeschwindigkeit liegt.

[0010] 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 Flammgeschwindigkeit 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.

[0011] Aus diesen und anderen Gründen besteht ein Bedarf an der vorliegenden Erfindung. Es kann eine Aufgabe der Erfindung sein, auf externe Maßnahmen zur NO-Reduzierung, beispielsweise auf eine externe Abgasrückführung verzichten zu können. Es kann eine Aufgabe der Erfindung sein, den Energieeinsatz so gering wie möglich zu halten. Es kann eine Aufgabe der Erfindung sein, eine energetisch vorteilhafte Verbrennung mit minimiertem NO-Ausstoß zur Verfügung zu stellen.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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 werden, 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.

[0015] 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-Absen-

kung auch über einen weiten Lastbereich und/oder für verschiedene Brennstoffe und/oder für verschiedene Feuerräume gewährleistet werden.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] 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 diesem 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] Die folgenden Figuren zeigen beispielhaft Ausgestaltungen von erfindungsgemäßen Brennköpfen, mit denen das erfindungsgemäße Verfahren zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes durchgeführt werden kann.

[0023] 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.

[0024] 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 stromabwärts des Brennkopfs 10. Hier befindet sich der nicht weiter dargestellte Brennraum oder Feuerraum.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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 strömenden 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.

[0031] 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 bezeichnet umfassen, die im ersten, stromaufwärts gelegenen Bereich 36 der Dralleinrichtung 14 liegen.

[0032] Die Stützbrennstoffdüsen 16b können gleich-

mäßig 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 Brennstoffbeziehungswise Gasmenge sind die Zündbedingungen des verdrahten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs im Bereich der Drallschaufeln 32, also im stromaufwärts gelegenen Bereich 36, noch nicht gegeben.

[0033] 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.

[0034] 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 beschauften Teil des Drallkörpers 30 oder in anderen Worten im ersten Bereich 36 gebildete Brennstoff-Luftgemisch ab und erzeugen somit das zündfähige Ge-

misch 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.

[0035] 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.

[0036] Die separate Regelbarkeit von Primär- und Stützgas durch die Regeleinrichtung 40 im Verhältnis zur Regelbarkeit der durch die zweite Brennstoffzuführung 22 strömenden zweiten und hauptsächlich 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 $\lambda > 2$.

[0037] Aufgrund der dadurch sehr niedrigen Verbrennungstemperaturen entsteht innerhalb der Primärflamme 24 nachweislich nahezu kein thermisches und kein promptes NO.

[0038] 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 derselbigen 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.

[0039] Für eine stabile Primärflamme 24 sind die vorherige Zufuhr des Stützgases über die Stützbrennstoffdüsen 16b in die verdrahtete 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 unbeschauften Teil 38 des Drallkörpers 30 in der dargestellten Ausführungsform von Bedeutung. Andere Mittel können vorgesehen sein, um eine stabile Primärflam-

me mit einer Stöchiometrie größer 1, insbesondere größer 1,5 oder auch größer 2 zu erzielen.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] 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.

[0043] Die zweiten Brennstoffdüsen 18 können ausgestaltet sein, 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 Hauptflamme 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.

[0044] Die Brennstoffzuführungen können so ausgestaltet und angeordnet sein, dass eine Zündenergie für die beabstandete Hauptflamme 26 aus der Primärflam-

me 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.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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 das 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] 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.

[0052] 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.

[0053] 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 beschrieben. 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.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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 tangentielle 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 verdrallten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemisches abgegeben wird. Das Primärgas strömt aus den seitlichen Bohrungen in eine tangentielle Richtung aus, die von der Drallrichtung vorgegeben ist. Zusätzlich oder alternativ können die Primärgasdüsen 16a eine axiale Bohrung aufweisen, aus der ebenfalls Primärgas strömt.

[0057] 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.

[0058] 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 Seitenansicht 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.

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] 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 Gesamt-brennstoffmenge.

[0062] 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.

[0063] 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 intensive 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.

[0064] 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.

[0065] 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.

[0066] 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] 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 verdrallt. Eine erste Brennstoffmenge wird direkt in den Drallkörper 30 zugeführt und dort mit der verdrallten Verbrennungsluft 28 vermischt. Eine Primärflamme wird in dem verdrallten 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.

[0074] 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.

[0075] 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 der grundlegenden Idee der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Die vorliegende Anmeldung soll alle Adaptionen oder Variationen der hierin erörterten spezifischen Ausführungsformen 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), vorzugsweise mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0;
- Zuführen einer zweiten Brennstoffmenge stromabwärts zur Ausbildung einer schwach überstöchiometrischen Hauptflamme (26), vorzugsweise mit einer Stöchiometrie zwischen 1,03 und 1,18, in einem Feuerraum, wobei eine Temperatur der Hauptflamme (26) durch feuerraumintern rezirkulierte Abgase herabgesetzt ist, und wobei sich die Hauptflamme (26) stromabwärts des Brennerrohrs (12) und 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:
- Verdrehen eines Teils der Verbrennungsluft (28) zur Erzeugung einer verwirbelten Verbrennungsluft; 5
 - Zuführen einer ersten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in den Bereich der verwirbelten Verbrennungsluft zur Ausbildung eines verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemischs; 10
 - Herabsetzen einer Strömungsgeschwindigkeit des verwirbelten mageren Luft-/ Brennstoffgemischs; und
 - Zuführen einer zweiten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in das verlangsamte verwirbelte magere Luft-/ Brennstoffgemisch. 15
4. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Zuführen wenigstens eines Teils der ersten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in radialer Richtung nach innen erfolgt. 20
5. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Zuführen wenigstens eines Teils der zweiten Teilmenge der ersten Brennstoffmenge in tangentialer Richtung mit der Strömung des verdrehten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs erfolgt. 25
6. Verfahren gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, ferner umfassend: 30
- Ausbilden von Wirbeln, insbesondere stehenden Wirbeln im Bereich der Zuführung der zweiten Brennstoffmenge, so dass Abgase in die heißen Zonen der Hauptflammenfront (26) rückgeführt werden. 35
7. Brennkopf (10) zur gestuften Verbrennung eines Brennstoffes, wobei der Brennkopf (10) ausgestaltet ist, eine erste zugeführte Menge des Brennstoffs in einer überstöchiometrischen Primärflamme (24) innerhalb eines Brennerrohrs (12) zu verbrennen, und eine zweite zugeführte Menge des Brennstoffs in einer schwach überstöchiometrischen Hauptflamme (26), vorzugsweise mit einer Stöchiometrie zwischen 1,03 und 1,18 in einem Feuerraum beabstandet von dem Brennerrohr (12) zu verbrennen, wobei die Brennstoffzuführungen so ausgestaltet sind, dass die Primärflamme (24) mit einer Stöchiometrie größer 1,5, insbesondere größer 2,0 brennt, wobei der Brennkopf (10) ferner ausgestaltet ist, eine Temperatur der Hauptflamme (26) durch feuerraumintern rezirkulierte Abgase herabzusetzen, und die Hauptflamme (26) stromabwärts des Brennerrohrs (12) und beabstandet von dem Brennerrohr (12) zu stabilisieren. 40 45 50 55
8. Brennkopf (10) gemäß Anspruch 7, wobei eine Zuführung der ersten Menge Brennstoff und eine Zuführung der zweiten Menge Brennstoff voneinander unabhängig regelbar sind, 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.
9. Brennkopf (10) nach Anspruch 8, wobei der Brennkopf ausgestaltet ist, einen ersten Teil der ersten Menge des Brennstoffs einem stark verwirbelten Teil der Verbrennungsluft zur Bildung eines Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs zuzuführen und einen zweiten Teil der ersten Menge des Brennstoffs dem abgebremsten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemisch zuzuführen.
10. 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 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.
11. Brennkopf nach Anspruch 10, wobei sich die Brennstoffmengen des durch die erste Brennstoffzufüh-

- nung (20) beziehungsweise durch die zweite Brennstoffzuführung (22) zugeführten Brennstoffes voneinander unabhängig regeln lassen.
12. Brennkopf gemäß Anspruch 10 oder 11, wobei die Dralleinrichtung (14) eine durchbrochene Trennwand (34) zwischen dem ersten Bereich (36) und dem zweiten Bereich (38) aufweist. 5
13. Brennkopf gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die ersten Brennstoffdüsen (16a, 16b) Primärbrennstoffdüsen (16a) umfassen, die im zweiten Bereich (38) des Drallkörpers (30) angeordnet sind, und Stützbrennstoffdüsen (16b) umfassen, die im ersten Bereich des Drallkörpers (30) angeordnet sind. 10
15
14. Brennkopf gemäß Anspruch 13, 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. 20
15. Brennkopf gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei die Primärbrennstoffdüsen (16a) gleichmäßig in einem Strahlenkranz verteilt und ausgebildet sind, Brennstoff in tangentialer Richtung mit der Strömung des verdrallten Brennstoff-/ Verbrennungsluftgemischs abzugeben. 25
30
16. Brennkopf nach einem der Ansprüche 10-15, wobei wenigstens ein Teil des Brennstoffaustritts aus den ersten Brennstoffdüsen (16a) über seitliche Bohrungen (60) in den ersten Brennstoffdüsen erfolgt. 35
17. Brennkopf gemäß einem der Ansprüche 10-16, 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. 40
18. Brennkopf nach Anspruch 17, wobei der Drallkörper (30) auf dem Brennstoffrohr (48) in Längsrichtung verschiebbar angeordnet ist. 45
19. Brennkopf nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner aufweisend: 50
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. 55
20. Brennkopf nach Anspruch 19, wobei die ringförmige Deltascheibe (66) an ihrem Innenumfang zwischen

den Leiteinrichtungen (68) eine Vielzahl von Ausbuchtungen (72) aufweist.

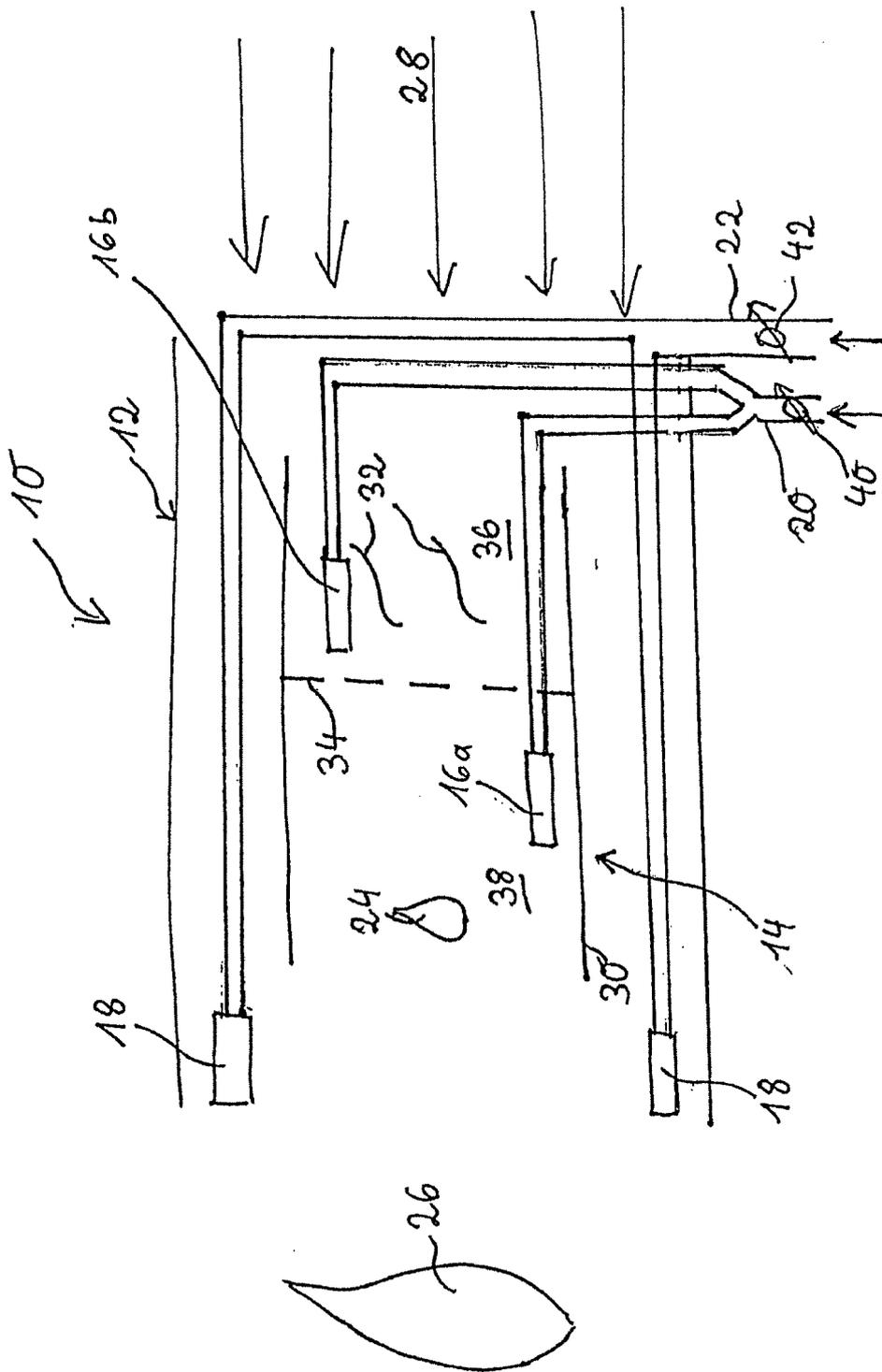


Fig. 1

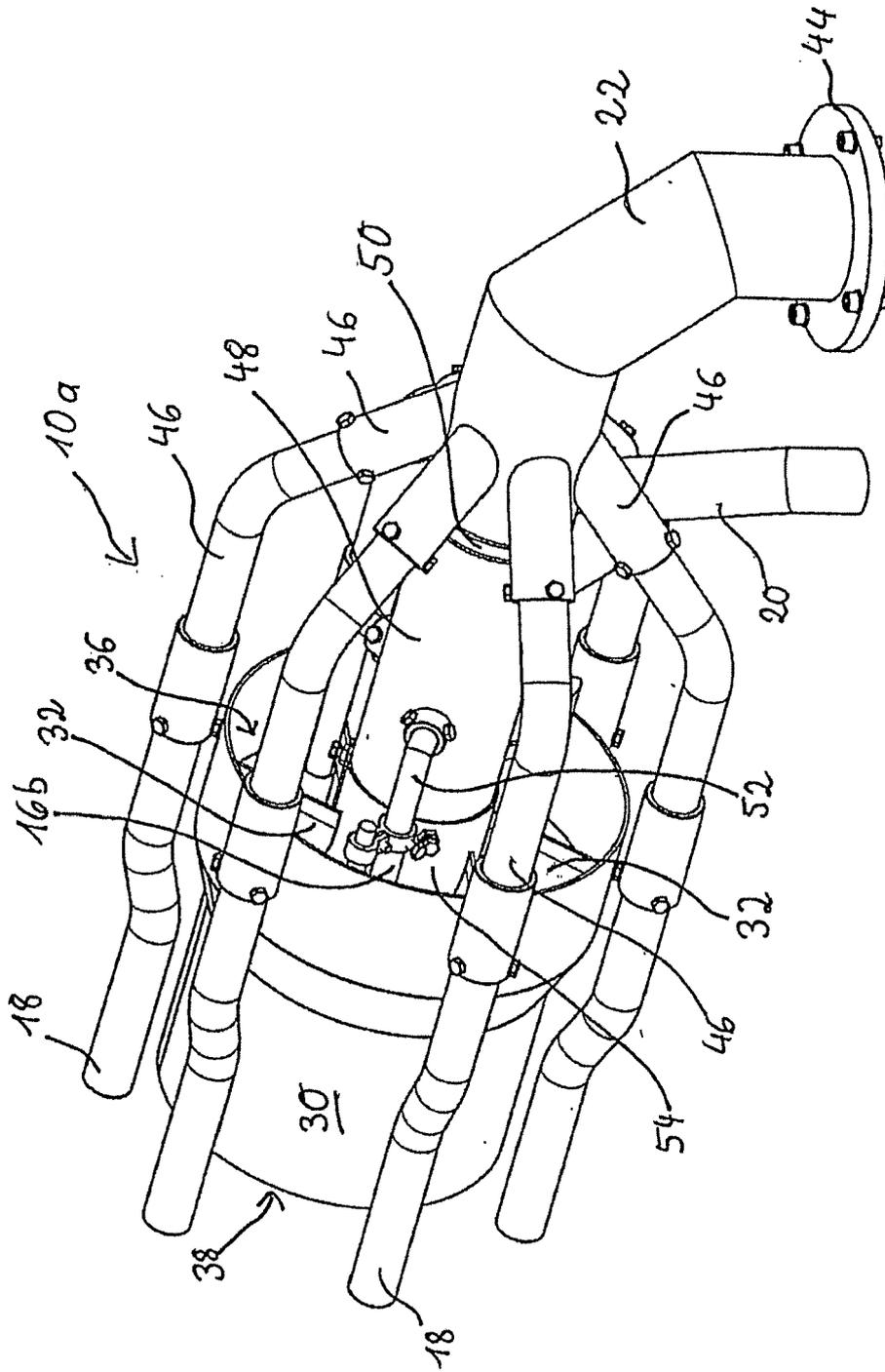


Fig. 2

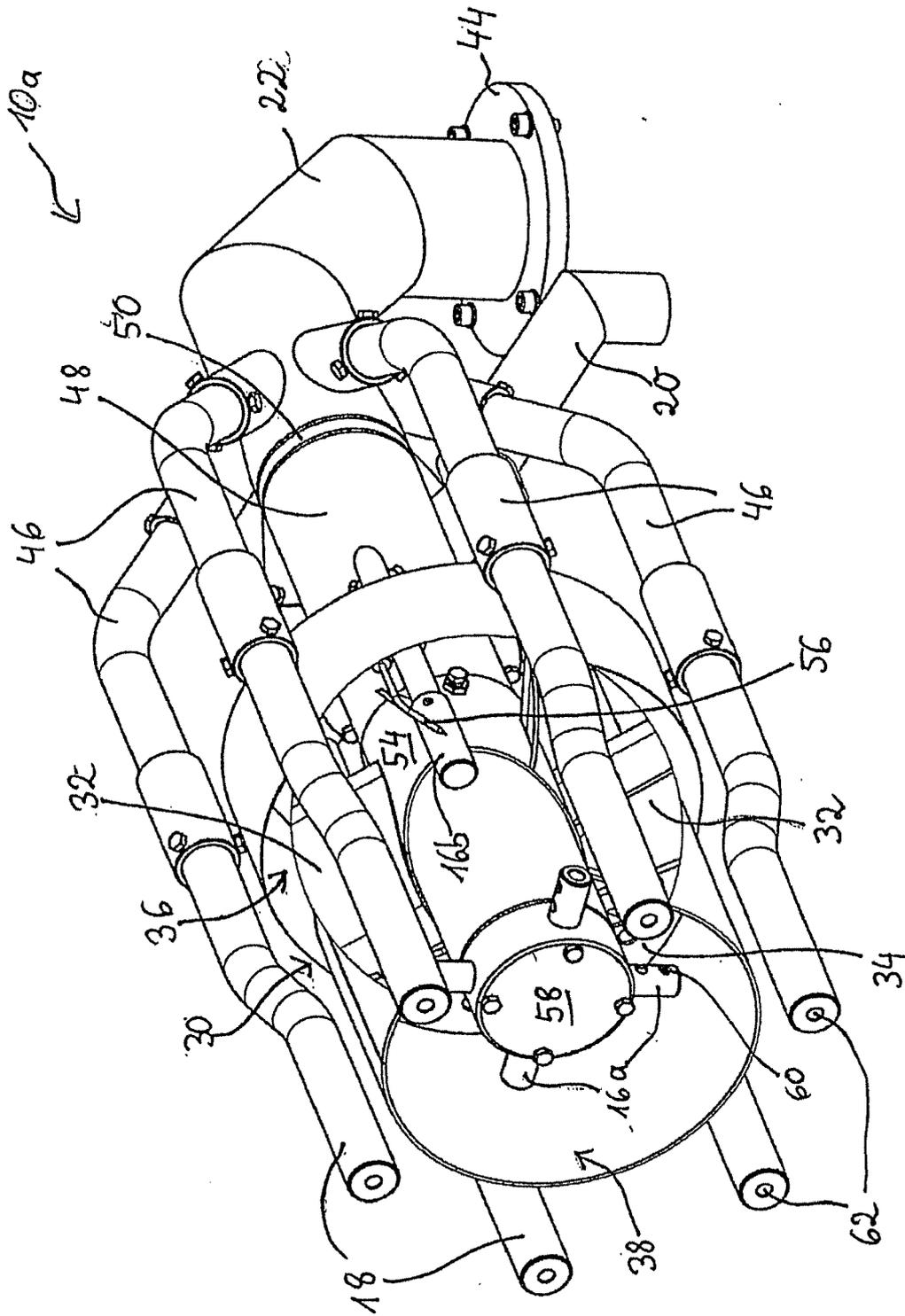


Fig. 3

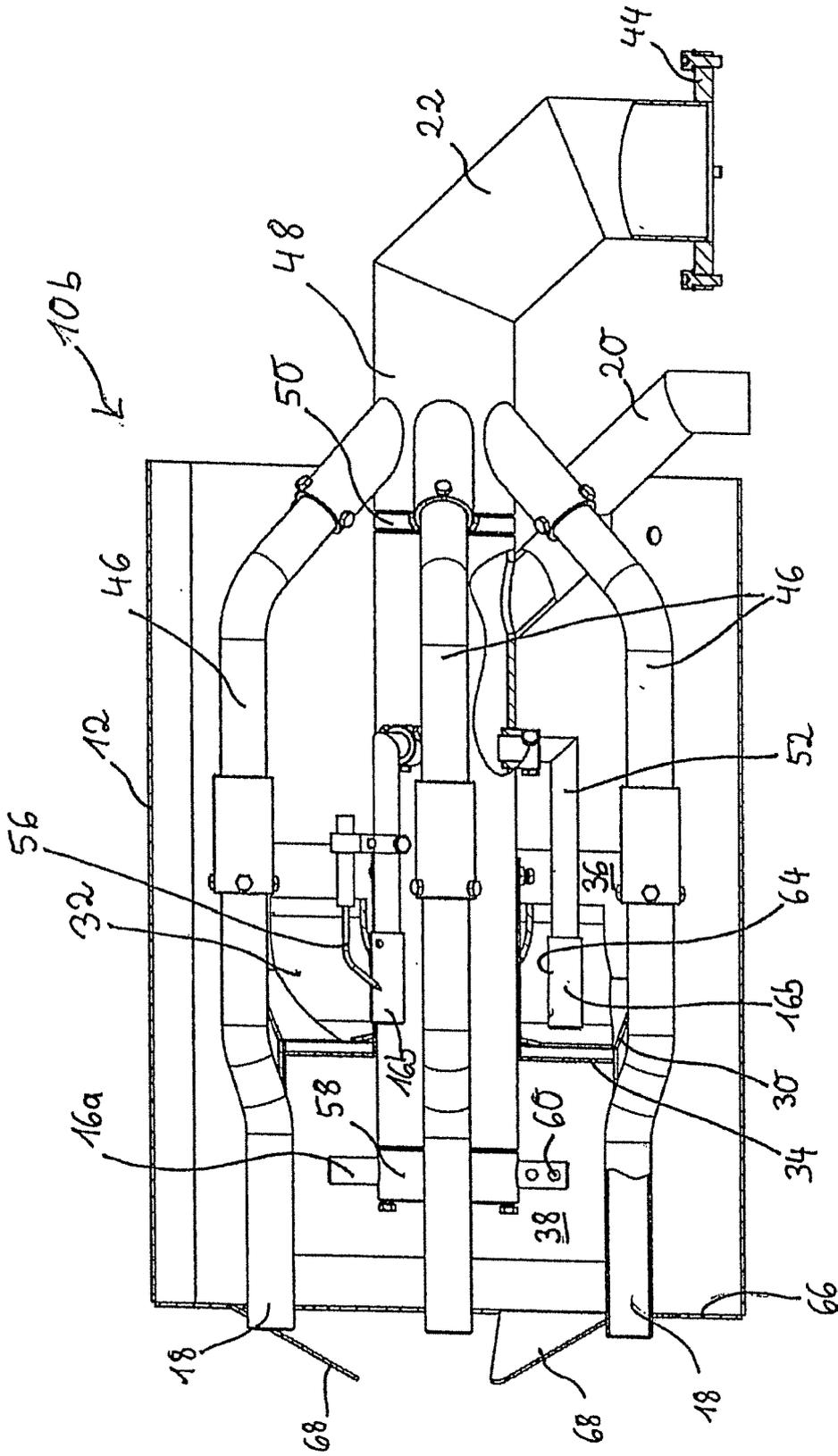


Fig. 4

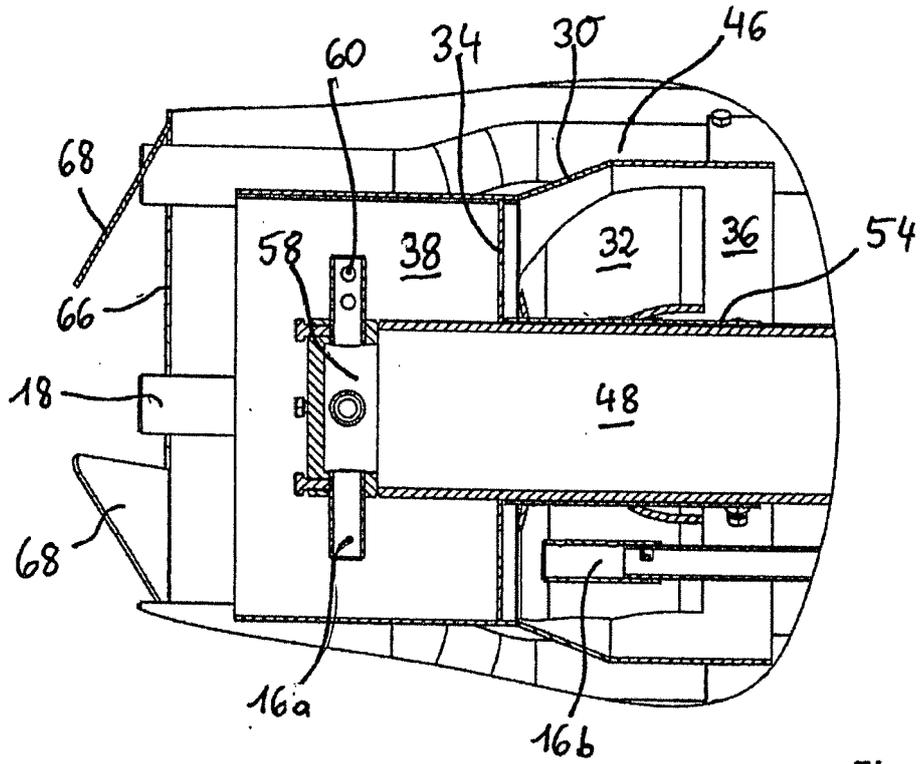


Fig. 5

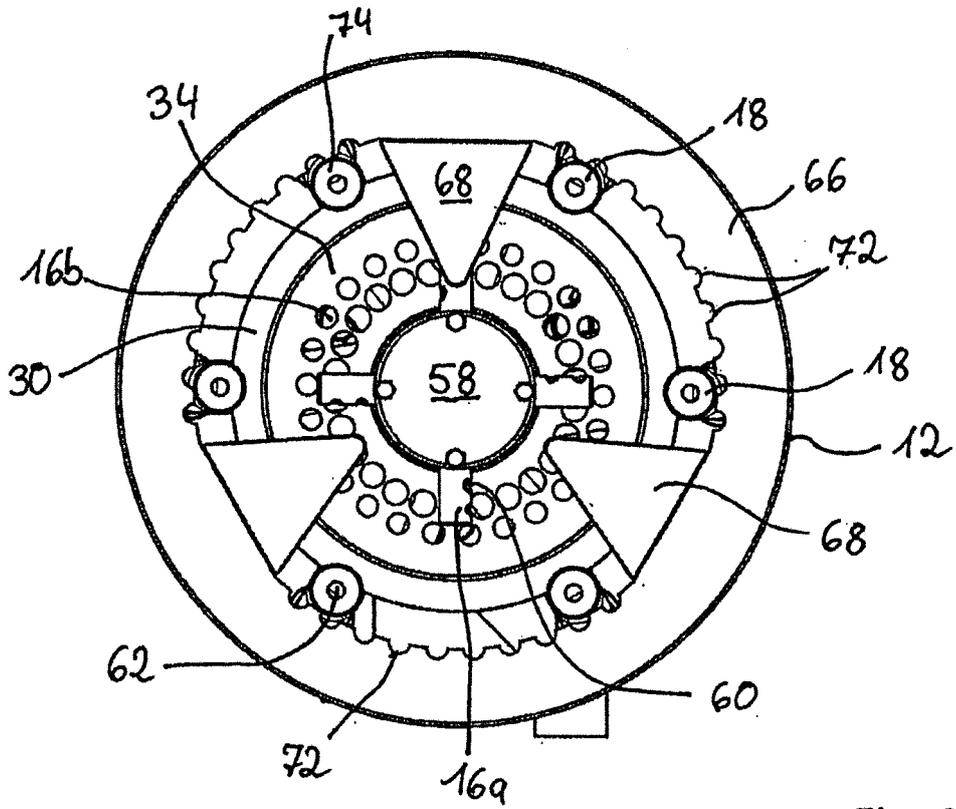


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 21 18 2423

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 44 27 104 A1 (PREMATECHNIK GES FUER VERFAHRE [DE]) 1. Februar 1996 (1996-02-01) * Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 6; Abbildungen 1-3 * * Spalte 1, Zeile 52 - Zeile 68 * * Spalte 2, Zeile 27 - Spalte 3, Zeile 12 * -----	1, 6, 7	INV. F23C6/04 F23C9/00 F23D11/40 F23D14/20 F23D14/62
X	EP 3 078 910 A1 (VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE [CZ]; PBS POWER EQUIPMENT S R O [CZ]) 12. Oktober 2016 (2016-10-12)	1-3, 7-9	
A	* Absatz [0001]; Abbildungen 1-3 * * Absatz [0007] - Absatz [0012] * -----	4, 5, 10-20	
A	EP 0 612 959 A1 (CLYSAN D W BV [NL]) 31. August 1994 (1994-08-31) * Spalte 1, Zeile 1 - Zeile 22; Abbildungen 1, 2, 4, 5 * * Spalte 3, Zeile 33 - Zeile 36 * * Spalte 4, Zeile 33 - Spalte 5, Zeile 28 * * Spalte 6, Zeile 19 - Zeile 57 * -----	1-20	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F23C F23D
A	US 4 737 100 A (SCHNELL EARL W [US] ET AL) 12. April 1988 (1988-04-12) * das ganze Dokument * -----	17	
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlussdatum der Recherche 7. Dezember 2021	Prüfer Hauck, Gunther
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 18 2423

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
 Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-12-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4427104 A1	01-02-1996	KEINE	
EP 3078910 A1	12-10-2016	KEINE	
EP 0612959 A1	31-08-1994	KEINE	
US 4737100 A	12-04-1988	CA 1269035 A US 4737100 A	15-05-1990 12-04-1988

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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]