



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 005 735 B4 2009.11.05**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 005 735.7**

(22) Anmeldetag: **07.02.2005**

(43) Offenlegungstag: **10.08.2006**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **05.11.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F23D 14/32 (2006.01)**
F23D 14/22 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Air Liquide Deutschland GmbH, 47805 Krefeld, DE

(74) Vertreter:
Kahlhöfer - Neumann - Herzog - Fiesser,
Patentanwälte, 40210 Düsseldorf

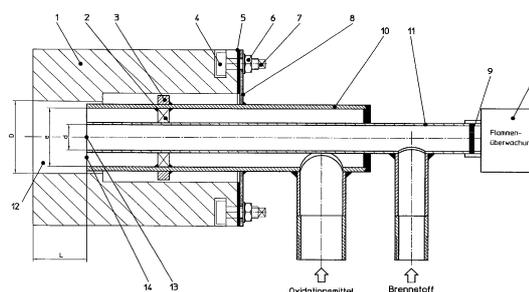
(72) Erfinder:
Köder, Horst, 06254 Luppenau, DE; Backes,
Lothar, 47239 Duisburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	44 00 831	A1
US	54 05 082	A
US	62 37 369	B1
EP	12 36 691	A2
EP	05 63 792	A2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Erhitzen eines Industrieofens unter Einsatz eines Brenners und zur Durchführung des Verfahrens geeigneter Rohr-in-Rohr-Brenner**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Erhitzen eines Industrieofens unter Einsatz eines Brenners, dem ein gasförmiges Oxidationsmittel und ein Brennstoff zugeführt werden und unter Bildung einer Reaktionszone miteinander reagieren, wobei ein Brennstoff-Strom über eine zentrale Brennerdüse (13) und ein Oxidationsmittel-Strom über eine zentrale Brennerdüse (13) umgebende ringförmige Brennerdüse (14) aus dem Brennermund austreten, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionszone eine Vor-Reaktionszone umfasst, die in einer den Brennerdüsen (13, 14) zugeordneten Misch- und Verbrennungskammer (12) vorgesehen ist, und wobei das Verhältnis der Impulsstromdichten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Strom auf einen Wert im Bereich zwischen 0,8 und 1,2 vorzugsweise auf einen Wert von ca. 1 eingestellt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erhitzen eines Industrieofens unter Einsatz eines Brenners, dem ein gasförmiges Oxidationsmittel und ein Brennstoff zugeführt werden und unter Bildung einer Reaktionszone miteinander reagieren, wobei ein Brennstoff-Strom über eine zentrale Brennerdüse und ein Oxidationsmittel-Strom über eine zentrale Brennerdüse umgebende ringförmige Brennerdüse aus dem Brennermund austreten.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung einen Rohr-in-Rohr-Brenner zur Durchführung des Verfahrens, mit einer zentralen Brennerdüse für die Zufuhr eines Brennstoffes und mit einer die zentrale Brennerdüse umgebenden ringförmigen Brennerdüse für die Zufuhr eines gasförmigen Oxidationsmittels zu einem Brennermund.

[0003] Derartige Brenner für gasförmige und flüssige Brennstoffe werden zur direkten Beheizung von Ofenräumen industrieller Thermoprozeßanlagen, wie beispielsweise in Wärmebehandlungs- und Schmelzanlagen, insbesondere in Glasschmelzwannen, eingesetzt.

[0004] Beispielsweise offenbaren die US 6,237,369, die DE 44 00 831 A1 und die US 5,405,082 verschiedene Rohr-in-Rohr Brenner für unterschiedliche Anwendungsgebiete.

[0005] In der Regel handelt es sich dabei um Erdgas-Sauerstoffbrenner mit einer zentralen Erdgasdüse und mehreren konzentrisch dazu angeordneten Sauerstoffdüsen, die häufig in mehrere Primär- und Sekundärdüsen aufgeteilt sind. Unter Einsatz der bekannten Brenner werden durch gestufte Verbrennung, Trennung der Erdgas- und Sauerstoffströme und geringe Erdgas- bzw. Sauerstoffaustrittsimpulse und -geschwindigkeiten niedrige NO_x-Werte im Ofenabgas erreicht.

[0006] Allerdings sind die bekannten Brenner relativ aufwändig in der Fertigung und es hat sich gezeigt, dass sich unter den auf geringe NO_x-Werte optimierten Betriebsbedingungen Kondensate und Verspritzungen im Bereich des Brenneraustritts bilden können. Derartige Kondensate entstehen insbesondere in Glasschmelzwannen, wobei die Kondensate auch an der Wannenwandung herabfließen und die Brennerdüsen allmählich zusetzen, was nachlassende Effizienz, Betriebsausfälle und hohe Wartungskosten nach sich zieht.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erhitzen eines Industrieofens unter Einsatz eines Brenners anzugeben, das sich einerseits durch geringe NO_x-Werte im Abgas auszeichnet und bei dem gleichzeitig eine Kondensatbildung im Bereich des Brenneraustritts vermieden wird.

[0008] Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen einfachen und wenig stör anfälligen Brenner zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen.

[0009] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Reaktionszone eine Vor-Reaktionszone umfasst, die in einem Brennermund endet und in einer Misch- und Verbrennungskammer vorgesehen ist, und wobei das Verhältnis der Impulsstromdichten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Stroms auf einen Wert im Bereich zwischen 0,8 und 1,2, vorzugsweise auf einen Wert von ca. 1, eingestellt wird.

[0010] Die Impulsstromdichte ist ein Maß für die flächenbezogene Impulsverteilung des aus dem Brennermund austretenden Gasstroms. Rechnerisch ergibt sich aus dem Quotienten von Produkt aus Geschwindigkeit und Massenstrom des Gasstromes bezogen auf den Strömungsquerschnitt der jeweiligen Düse am Ausgang des Brennermundes.

[0011] Es hat sich gezeigt, dass ähnliche Impulsstromdichten von Oxidationsmittel- und Brennstoff-Strom zu geringen NO_x-Konzentrationen im Abgas führen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass sich die beiderseitigen Gasströme im Fall ähnlicher Impulsstromdichten schlechter vermischen und dadurch die Verbrennung verzögert wird. Durch den hohen Gesamtaustrittsimpuls des Oxidationsmittelstromes- und Brennstoffstromes werden zusätzlich große Mengen von Ofenabgasen in die Reaktionszone der Flamme eingesaugt, was zu einer Senkung der Flammentemperatur mit einer gut durchmischten, homogenen Reaktionszone mit niedriger thermischer NO_x-Bildung und CO-Emission führt. Durch die gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofenraum, dem guten konvektivem Wärmeübergang und einer Flammentemperatur auf niedrigem Niveau wird eine gleichmäßige und schonende Erwärmung des zu schmelzenden oder zu behandelnden Produkts erreicht.

[0012] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird dieser Effekt noch dadurch verstärkt, dass unmittelbar an den Brennerdüsen des Brenners eine Vor-Reaktionszone vorgesehen ist, in der die Verbrennung bereits teilweise einsetzt. Zur Lokalisierung und räumlichen Begrenzung der Vor-Reaktionszone ist eine Misch- und Verbrennungskammer vorgesehen, in welche die aus den Brennerdüsen austretenden Gasströme einströmen. Dadurch wird eine mäßige Vermischung der Gasströme erreicht und durch die in der Vor-Reaktionszone bereits anlaufenden Verbrennungsreaktion wird auch eine vergleichsweise hohe Temperatur im Bereich des Brennermundes und der umgebenden Ofenwandung eingestellt, die eine Kondensatbildung in diesem Bereich vermeidet und so den Brenner vor Verstopfungen schützt.

[0013] Die Vor-Reaktionszone ist in Form einer den Brennerdüsen zugeordneten Misch- und Verbrennungskammer ausgebildet, in welche die aus dem Brenner austretenden Gase unmittelbar einströmen und vermischt und vorverbrannt werden, und aus der sie anschließend in vorreagierter und vorgemischter Form austreten. Die Misch- und Verbrennungskammer fördert somit die Verbrennung und sie trägt zum Erhitzen der aus dem Brennermund austretenden Gasströme bei. Die damit einhergehende thermische Ausdehnung des Gasgemisches führt zu einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit beim Ausströmen des Gasgemisches aus der Misch- und Verbrennungskammer und damit zu geringeren NO_x-Werten, wie weiter unten noch näher erläutert wird.

[0014] Die Misch- und Verbrennungskammer ist im einfachsten Fall als Hohlraum in einem den Brennerdüsen umgebenden Brennerstein aus keramischem Material ausgebildet, so dass ihr in dem Fall auch eine Funktion des thermischen Schutzes insbesondere vor der Ofenstrahlung der Brennerdüsen zukommt.

[0015] Als weiterer wesentlicher Parameter für NO_x- und CO-arme Betriebsbedingungen und geringe Kondensatbildung hat sich der Gesamtaustrittsimpulsstrom erwiesen. Der auf die Brennerleistung bezogene Gesamtaustrittsimpulsstrom wird daher erfindungsgemäß auf einen Wert im Bereich zwischen 1,53 und 34 N/MW, vorzugsweise auf einen Wert im Bereich zwischen 16 und 20 N/MW eingestellt.

[0016] Der auf die Brennerleistung bezogene Gesamtaustrittsimpulsstrom ergibt sich rechnerisch als Summe der Produkte aus Masse und Geschwindigkeit der jeweiligen Gasströme bezogen auf die Brennerleistung beim Austritt aus dem Brennermund. Die Brennerleistung wiederum ergibt sich durch den Brennstoffvolumenstrom multipliziert mit dem Heizwert des jeweiligen Brennstoffes.

[0017] Ein hoher Gesamtaustrittsimpulsstrom des Gasgemisches bewirkt eine Ansaugung von Ofenabgasen und deren Einmischung in die Brennerflamme. Dadurch wird die Flammentemperatur reduziert und vergleichmäßig und es werden hohe Abgasrezirkulationsraten erreicht, was wiederum zu einer erhebliche NO_x-Reduzierung und zu geringen CO-Werten führt. Außerdem ergibt sich dadurch ein besserer konvektiver Wärmeübergang auf das zu erheizende beziehungsweise auf das zu schmelzende Gut, so dass Temperaturgradienten innerhalb des Ofens und damit einhergehende Kondensationen vermindert werden.

[0018] Insbesondere im Hinblick auf geringe Kondensatbildung und NO_x-Werte hat es sich als günstig erwiesen, wenn die Misch- und Verbrennungskammer eine den Brennerdüsen gegenüberliegende Gasaustrittsöffnung am Brennermund aufweist, wobei die Leistungsdichte am Brennermund definiert als die Querschnittsfläche der Gasaustrittsöffnung bezogene Brennerleistung auf einen Wert im Bereich zwischen 0,17 und 4,1 kW/mm² eingestellt wird, vorzugsweise auf einen Wert im Bereich zwischen 1,4 und 1,9 kW/mm²

[0019] Durch die angegebene Leistungsdichte wird eine hohe Austrittsgeschwindigkeit der Gasströme mit einer hohen Gastemperatur beim Austritt erreicht.

[0020] In diesem Zusammenhang hat es sich bewährt, wenn der Oxidationsmittel-Strom aus einer ringförmigen Brennerdüse mit einer Austrittsgeschwindigkeit im Bereich zwischen 18 m/s und Schallgeschwindigkeit, vorzugsweise zwischen 100 und 200 m/s, austritt.

[0021] Diese Maßnahme bewirkt eine starke Einsaugung der Ofenatmosphäre in den Strom des Oxidationsmittels und einen noch geringen Druckanstieg an der Abdichtung zum Brennerstein, die zu einer intensiven Vermischung und damit zu einer Verringerung von Sauerstoffkonzentrationsmaxima in der Brennerflamme führt, die ansonsten die NO_x-Bildung fördern.

[0022] Eine weitere Verringerung der NO_x-Bildung wird erreicht, wenn das Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeiten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Stroms aus dem Brennermund auf einen Wert im Bereich zwischen 0,17 und 2,21 eingestellt wird.

[0023] Das angegebene Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeiten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Stroms aus dem Brennermund trägt zu einer schlechteren Vermischung der Reaktanten und zu einer verzögerten Verbrennung verbunden mit niedriger Schadstoffbildung bei.

[0024] Das erfindungsgemäße Verfahren gestaltet sich besonders einfach, wenn das Oxidationsmittel und der Brennstoff mit einer Temperatur im Bereich zwischen minus 30 und 50°C, vorzugsweise mit Umgebungstemperatur, dem Brenner zugeführt werden.

[0025] Bei einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Brenner eingesetzt, bei dem die zentrale Brennerdüse einen Durchmesser „d“, die ringförmige Brennerdüse den Außendurchmesser „e“ und die Misch- und Verbrennungskammer eine den Brennerdüsen gegenüberliegende kreisförmige Gasaustrittsöffnung mit einem Durchmesser „D“ sowie eine Länge „L“ in Richtung der Brenner-Längsachse aufweist, mit der Maßgabe, dass das Verhältnis $L/(D - d)$ auf einen Wert im Bereich zwischen 2 und 11, und der Außendurchmesser „e“ auf einen Wert im Bereich zwischen $0,7 \times D$ und $0,96 \times D$ eingestellt werden.

[0026] Die Misch- und Verbrennungskammer mit den genannten Abmessungen zeichnet sich durch eine nahezu kontinuierliche Fortsetzung des Durchmessers des äußeren Brennerrohres und ein vergleichsweise geringes Innenvolumen aus. Ein an die Düsen angepasstes Innenvolumen fördert die oben erläuterten geringen Vorheizungs- und Vermischungswirkung der Vor-Reaktionszone. Starke Verwirbelungen und Rückströmungen, wie sie bei einer konischen Öffnung oder plötzlichen Erweiterung der Misch- und Verbrennungskammer vorkommen, werden so vermieden.

[0027] Hinsichtlich des Brenners zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die oben angegebene technische Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Rohr-in-Rohr-Brenner erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass den Brennerdüsen eine zylindrische Misch- und Verbrennungskammer zugeordnet ist.

[0028] Beim erfindungsgemäßen Brenner schließt sich am metallischen Teil des Brenners eine Misch- und Verbrennungskammer an, in welche die aus den Brennerdüsen austretenden Gasströme einströmen, darin vermischt und vorverbrannt werden, und aus der sie anschließend in vorreagierter und vorgemischter Form am Brennermund austreten. Die Misch- und Verbrennungskammer fördert somit die Verbrennung und sie trägt zum Erhitzen der aus dem Brennermund austretenden Gasströme bei. Sie dient insofern zur Lokalisierung und räumlichen Begrenzung einer Vor-Reaktionszone, in der die Verbrennung bereits teilweise einsetzt.

[0029] Mittels der Misch- und Verbrennungskammer wird eine Vermischung der Gasströme erreicht und ebenfalls die Verbrennungsreaktion gestartet, so dass sich eine vergleichsweise hohe Temperatur im Bereich des Brennermundes und der umgebenden Ofenwandung eingestellt, die eine Kondensatbildung in diesem Bereich vermeidet und so den Brenner am Brennermund vor Verstopfungen schützt, so dass sich der erfindungsgemäße Brenner auch durch hohe Betriebssicherheit und einen geringen Wartungsaufwand auszeichnet.

[0030] Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen. Soweit in den Unteransprüchen angegebene Ausgestaltungen der Vorrichtung den in Unteransprüchen zum erfindungsgemäßen Verfahren genannten Verfahrensweisen nachgebildet sind, wird zur ergänzenden Erläuterung auf die obigen Ausführungen zu den entsprechenden Verfahrensansprüchen verwiesen. Die in den übrigen Unteransprüchen genannten Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden nachfolgend näher erläutert.

[0031] Die Misch- und Verbrennungskammer ist im einfachsten Fall in einem Hohlraum eines den Brennermund umgebenden Brennersteins aus keramischem Material ausgebildet.

[0032] Der Brennerstein bildet einerseits einen in Richtung Brennermund offenen Hohlraum für die Ausbildung der Misch- und Verbrennungskammer, welche die Vormischung, Teilverbrennung und Vorwärmung der aus dem Brennermund austretenden Gasströme fördert, wie dies oben anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens näher erläutert ist, und er schützt die Brennerdüsen vor zu hohen Temperaturen.

[0033] Die zentrale Brennerdüse bildet den Gasaustritt eines Brennstoffrohrs für die Zufuhr des Brennstoffes und die ringförmige Brennerdüse bildet den Gasaustritt eines Oxidationsmittelrohrs für die Zufuhr des gasförmigen Oxidationsmittels, wobei sich vorteilhafterweise das Brennstoffrohr und das Oxidationsmittelrohr im Brennerstein in Richtung der Brenner-Längsachse zum Brennermund axial frei ausdehnen können.

[0034] Die axiale Ausdehnung – in Richtung der Brenner-Längsachse zum Brennermund – verhindert das

Auftreten thermisch bedingter mechanischer Spannungen zwischen dem Sauerstoffrohr mit der ringförmigen Brennerdüse und dem Brennerstein und verbessert daher die Betriebssicherheit des Brenners.

[0035] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung näher erläutert. Als einzige Figur der Zeichnung zeigt

[0036] [Fig. 1](#) eine Ausführungsform eines Roh-in-Rohr-Brenners zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Schnitt.

[0037] Bei dem in [Fig. 1](#) dargestellten Roh-in-Rohr-Brenner handelt es sich um einen konstruktiv einfachen Sauerstoff-Erdgasbrenner zum Erhitze einer Glasschmelzwanne.

[0038] Der Brenner besteht im Wesentlichen aus einem Sauerstoffzuführungsrohr **10** mit zentrisch angeordnetem Erdgaszuführungsrohr **11**, einer als Ringspalt ausgeführte Sauerstoffdüse **14** mit einer zentrisch angeordneten rohrförmigen Erdgasdüse **13**, einer Misch- und Verbrennungskammer **12**, die in einem Brennerstein **1** ausgebildet ist, einer UV oder IR-Flammenüberwachung **15**, einer Quarzglasscheibe **9**, einem ringförmigen Abstandhalter **3** zur Führung des metallischen Brennersteils im Brennerstein **1** und drei Zentrierungen **2** zur Führung des Erdgasrohres **11** im Sauerstoffrohr **10**, einer Dichtung **5**, einer Befestigungsplatte **8** mit Muttern **6**, Bolzen **7** und Gegenhaltern **4**.

[0039] Das Sauerstoffzuführungsrohr **10** mit der ringförmigen Brennerdüse **14** kann sich im Brennerstein **1** in Richtung der Brennerflamme ungehindert ausdehnen. Dies verhindert mechanischen Spannungen zwischen dem O₂-Zuführungsrohr **10** und dem Brennerstein **1** durch thermische Ausdehnung.

[0040] Die Misch- und Verbrennungskammer **12** hat eine zylindrische Gasaustrittsöffnung mit dem Durchmesser „D“ sowie die Länge „L“. Die Brennstoffaustrittsöffnung hat den Durchmesser „d“. Das Verhältnis L/(D – d) liegt zwischen 2 und 11 und der Außendurchmesser „e“ des Sauerstoffringspalt **14** liegt zwischen 0,7 und 0,96 des Durchmessers „D“.

[0041] Der Brenner kann in den Seitenwänden, im Abgaskamin oder in der Ofendecke einer Thermoprozessanlage wie z. B. einer Schmelzwanne angeordnet sein. Bei einer Anordnung im Abgaskamin wird der Sauerstoff auf bis zu 900°C rekuperativ vorgewärmt, was zu einer Energieeinsparung führt und eine zusätzliche Reduzierung der NO_x-Werte durch eine höhere Sauerstoff-Austrittsgeschwindigkeit verbunden mit einer starken Abgasrezirkulation bewirkt.

[0042] Der Brenner ist eigenmediengekühlt. Die Gaszuführungsrohre bestehen aus einem hitzebeständigem Edelstahl oder ist aus einer ODS-Legierung gefertigt

[0043] Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren beispielhaft anhand [Fig. 1](#) näher beschrieben.

[0044] Der Sauerstoffstrom gelangt über das metallische Sauerstoffzuführungsrohr **10** zur Sauerstoffringspaltdüse **14**. Der Erdgasstrom gelangt über das metallische Erdgaszuführungsrohr **11** zur rohrförmigen Erdgasdüse **13**. Das Erdgas und der Sauerstoff treten aus der jeweiligen Düse **13**, **14** aus und werden in einer zylindrischen Misch- und Verbrennungskammer **12**, die innerhalb des Brennersteins **1** ausgebildet ist, teilweise verbrannt, vorgewärmt und anschließend dem Ofenraum zugeführt. Dabei werden folgende Parameter eingestellt:

– Impulsstromdichteverhältnis von Sauerstoff zu Erdgas	= 1,13
– Gesamtaustrittsimpulsstrom bezogen auf die Brennerleistung	= 17,35 N/MW
– Leistungsdichte am Brennermund	= 1,8 kW/mm ²
– Geschwindigkeitsverhältnis von O ₂ zu Erdgas an den Düsen	= 0,76
– Temperatur der Reaktanten vor Eintritt in den Brenner	= 20°C

[0045] Aufgrund dieser Einstellungen ergeben sich nahezu gleiche Impulsstromdichten von Sauerstoff- und Erdgasstrom im Bereich der Düsen **13**, **14**, wodurch sich die Reaktanten nur teilweise vermischen. Durch den hohen Austrittsimpuls werden Ofenabgase im Bereich des Brennermundes angesaugt und somit Temperaturspitzen und Konzentrationsschwankungen in der Ofenatmosphäre vermindert, so dass sich eine gleichmäßige Temperaturverteilung auf niedrigem Niveau und damit einhergehend auch eine gleichmäßige und schonende Erwärmung des zu schmelzenden Glases ergibt.

[0046] Diese Wirkung wird verstärkt durch die Misch- und Verbrennungskammer **12**, innerhalb der die Verbrennungsreaktion bereits teilweise einsetzt, und die insoweit eine „Vor-Reaktionszone“ beinhaltet und diese räumlich begrenzt. Dadurch wird eine geringfügige Vermischung von Sauerstoff und Erdgas erreicht, sodass die in der Vor-Reaktionszone bereits anlaufenden Verbrennungsreaktion eine vergleichsweise hohe Temperatur der Reaktanten im Bereich des Brennermundes und der umgebenden Ofenwand bewirkt, die eine Kondensatbildung in diesem Bereich vermeidet und so den Brenner vor Verstopfungen schützt.

[0047] Die mit Einsetzen der Verbrennung einhergehende thermische Ausdehnung des Gasgemisches aus Erdgas und Sauerstoff führt zu einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit beim Ausströmen des Gasgemisches aus der Misch- und Verbrennungskammer **12**. Dadurch entsteht ein besonders starker Austrittsimpuls des aus der Misch- und Verbrennungskammer **12** austretenden Gasgemisches, das Erdgas, Sauerstoff, CO₂, H₂O, N₂ und CO umfasst. In Verbindung mit den oben angegebenen Strömungs- und Temperaturparametern ergibt sich dadurch eine besonders intensive Ansaugung von Ofenabgasen und deren Einmischen in die Brennerflamme. Dadurch wird die Flammentemperatur merklich reduziert und gleichmäßig was eine erhebliche NOx-Reduzierung bewirkt.

[0048] Bei einer Ofenraumtemperatur von 1450°C wurden NOx-Werte im Abgas bei 140 Vol.-ppm (trocken) ermittelt. Das UV Signal der Flammenüberwachung betrug dabei 23 µA. Der Restsauerstoffgehalt im Abgas betrug 2,63 Vol.-% trocken. Der Ofen hatte geringen Überdruck und der Stickstoffgehalt im Erdgas lag bei 1 Vol.-%. Eine Flamme war nicht sichtbar.

[0049] Außerdem wird dadurch, dass die teilweise vorgemischten und verbrannten Reaktanten aus einem Brennermund mit hohem Impuls und Temperatur austreten, die eine Verstopfung durch herablaufende Kondensate an der Ofenwand entgegenwirkt.

[0050] Der erfindungsgemäße Brenner wird vorzugsweise im Abgaskamin eingesetzt, so dass die Flamme entgegengesetzt zur Abgasströmung in Ofenlängsachse zeigt, wobei der Sauerstoff auf bis zu 900°C rekupe- rativ vorgewärmt wird, was zu einer Energieeinsparung führt und eine zusätzliche Reduzierung der NOx-Werte durch eine höhere Sauerstoff-Austrittsgeschwindigkeit verbunden mit einer starken Abgasrezirkulation bewirkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erhitzen eines Industrieofens unter Einsatz eines Brenners, dem ein gasförmiges Oxidationsmittel und ein Brennstoff zugeführt werden und unter Bildung einer Reaktionszone miteinander reagieren, wobei ein Brennstoff-Strom über eine zentrale Brennerdüse (**13**) und ein Oxidationsmittel-Strom über eine zentrale Brennerdüse (**13**) umgebende ringförmige Brennerdüse (**14**) aus dem Brennermund austreten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reaktionszone eine Vor-Reaktionszone umfasst, die in einer den Brennerdüsen (**13**, **14**) zugeordneten Misch- und Verbrennungskammer (**12**) vorgesehen ist, und wobei das Verhältnis der Impulsstromdichten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Strom auf einen Wert im Bereich zwischen 0,8 und 1,2 vorzugsweise auf einen Wert von ca. 1 eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der auf die Brennerleistung bezogene Gesamtaustrittsimpulsstrom auf einen Wert im Bereich zwischen 1,53 und 34 N/MW, vorzugsweise einen Wert im Bereich zwischen 16 und 20 N/NW eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Misch- und Verbrennungskammer (**12**) eine den Brennerdüsen (**13**, **14**) gegenüberliegende Gasaustrittsöffnung aufweist, wobei die auf die Querschnittsfläche der Gasaustrittsöffnung bezogene Brennerleistung auf einen Wert im Bereich zwischen 0,17 und 4,1 kW/mm² eingestellt wird, vorzugsweise auf einen Wert im Bereich zwischen 1,4 und 1,9 kW/mm².

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidationsmittel-Strom aus einer ringförmigen Brennerdüse (**14**) mit einer Austrittsgeschwindigkeit im Bereich zwischen 18 m/s und Schallgeschwindigkeit, vorzugsweise zwischen 100 und 200 m/s, austritt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeiten des Oxidationsmittel-Stroms zum Brennstoff-Strom an den Brennerdüsen (**13**, **14**) auf einen Wert im Bereich zwischen 0,17 und 2,21 eingestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Oxidations-

mittel und der Brennstoff mit einer Temperatur im Bereich zwischen minus 30 und 50°C, vorzugsweise mit Umgebungstemperatur, dem Brenner zugeführt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrale Brennerdüse (**13**) einen Durchmesser „d“, die ringförmige Brennerdüse (**14**) einen Außendurchmesser „e“ und die Misch- und Verbrennungskammer (**12**) eine den Brennerdüsen gegenüberliegende kreisförmige Gasaustrittsöffnung am Brennermund mit einem Durchmesser „D“ sowie eine Länge „L“ in Richtung der Brenner-Längsachse aufweist, mit der Maßgabe, dass das Verhältnis $L/(D - d)$ auf einen Wert im Bereich zwischen 2 und 11, und der Innendurchmesser „e“ auf einen Wert im Bereich zwischen $0,7 \times D$ und $0,96 \times D$ eingestellt werden.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

