

(19)



(11)

EP 3 365 603 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.07.2020 Patentblatt 2020/30

(51) Int Cl.:
F23L 9/00 (2006.01) F23N 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16797719.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2016/100485

(22) Anmeldetag: **19.10.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/067540 (27.04.2017 Gazette 2017/17)

(54) **FEUERUNGSSYSTEM UND VERFAHREN ZU DESSEN BETRIEB**

FIRING SYSTEM AND METHOD FOR OPERATING SAME

SYSTÈME DE COMBUSTION ET PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT ASSOCIÉ

(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

- **BARIS, Daniela**
68804 Altlußheim (DE)
- **GERIG, Andreas**
76185 Karlsruhe (DE)
- **SEIFERT, Helmut**
76069 Ludwigshafen (DE)

(30) Priorität: **19.10.2015 DE 102015117718**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.08.2018 Patentblatt 2018/35

(74) Vertreter: **Ege Lee & Partner**
Patentanwälte PartGmbB
Walter-Gropius-Straße 15
80807 München (DE)

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie**
76131 Karlsruhe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-03/083370 WO-A1-03/083372
DE-A1- 3 712 039 DE-A1- 4 301 082
DE-A1-102011 002 205 GB-A- 402 934

(72) Erfinder:
• **GEHRMANN, Hans-Joachim**
76356 Weingarten (DE)

EP 3 365 603 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 Erfindung betrifft ein Feuerungssystem zur Verbrennung von festem, auf ein Brennstoffbett zugeführtem Brennstoff mit einer primären Brennstufe mit einer ersten Zufuhreinrichtung zur Zufuhr eines ersten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases und Durchführung eines unvollständigen Verbrennvorgangs mit Erzeugung eines ersten Volumenstroms und einer der ersten Brennstufe nachgeschalteten sekundären Brennstufe mit einem von einer zweiten Zufuhreinrichtung zugeführten zweiten Volumenstrom eines zweiten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases in einen Abgasraum oberhalb des Brennstoffbetts zuführenden zweiten Zufuhreinrichtung.

[0002] Feuerungssysteme, das heißt, Anlagen, die chemisch gebundene Energie in thermische Energie umwandeln wie beispielsweise Müllverbrennungsanlagen sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt. Hierbei wird fester Brennstoff auf ein Brennstoffbett transportiert und gegebenenfalls mit Unterstützung einer zusätzlichen Brennstoffquelle mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff unter Zufuhr von Reaktionsgas, beispielsweise Luft oder beispielsweise mit Sauerstoff angereicherter Luft, mittels einer ersten Zufuhreinrichtung, beispielsweise eines Gebläses in einer ersten Brennstufe verbrannt. Hierbei ist in derartigen Feuerungssystemen eine Minimierung des Schadstoffausstoßes in deren Abgasen anzustreben, um beispielsweise die gesetzlich geltenden Grenzwerte einzuhalten oder zu unterschreiten. Beispielsweise kann der ersten Brennstufe eine zweite Brennstufe nachgeschaltet sein, die in dem der ersten Brennstufe nachgeschalteten Abgasraum mittels einer zweiten Zufuhreinrichtung ein zweites Reaktionsgas zuführt um eine Nachverbrennung nicht vollständig oxidierten Schadstoffe, beispielsweise Kohlenmonoxid in Kohlendioxid oder unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe zu oxidieren. Hierbei hat sich gezeigt, dass Stickoxide bei einer konstanten Zufuhr von Reaktionsgas, beispielsweise Luft in der zweiten Brennstufe in einer gestuften Betriebsweise zwar reduziert werden, diese Reduktion ist zur Einhaltung aktueller Grenzwerte häufig nur unter hohem Aufwand möglich.

[0003] Es wird daher in der DE 103 47 340 A1 eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Optimierung des Abgasausbrands in Verbrennungsanlagen vorgeschlagen, bei dem eine zweite sekundäre Zuführung des zweiten Reaktionsgases über Düsen erfolgt, die abhängig von Sensoren zur Detektion von nicht vollständig verbrannten Verbindungen zur Einleitung von Reaktionsgas gesteuert werden.

[0004] Aus der DE 20 2006 005 464 B3 ist ein Verfahren zur primärseitigen Stickoxidminderung in einem zweistufigen Verbrennungsprozess bekannt, bei dem die Temperatur des Abgases beim Verlassen des Brennstoffs an der Abgasausbrandzone durch Zufuhr eines Wasser-Gas-Gemisches so eingestellt wird, dass weniger Stickoxide entstehen.

[0005] Aus der WO 94/24484 A1 ist ein Verfahren zur

Reduzierung aller Emissionen bei der Verbrennung von Abfällen bekannt, bei dem ein Teil des in der Verbrennungsanlage entstehenden Rauchgases zurückgeführt und diesem reiner Sauerstoff beigelegt wird. Weiterhin wird als Stand der Technik zur Verhinderung einer Stickoxidbildung die Verbrennung bei Luftüberschuss, also bei einer überstöchiometrischen Zufuhr des Reaktionsgases vorgeschlagen, um eine bessere Durchmischung des (gasförmigen) Brennstoffs und des ersten Reaktionsgases in Form der Verbrennungsluft zu erzielen. Hierbei führt der Luftüberschuss zwar zu einer besseren Durchmischung, der Überschuss an Luft (Sauerstoff) jedoch auch zu einer stärkeren Oxidierung des Brennstoffs und damit zu einer vermehrten Bildung von Stickoxiden.

[0006] Die WO 03/083370 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung der Primär- und Sekundärlufteinspritzung einer Müllverbrennungsanlage.

[0007] Die DE 43 01 082 A1 beschreibt ein Verfahren zur Zuführung eines O₂-haltigen Verbrennungsgases zur Verbrennung von stückigem Brenngut, insbesondere Müll, in einen Feuerraum mit zugeordnetem Feuerungsrost einer Verbrennungsanlage, bei dem ein Teil des Verbrennungsgases als Primärgas durch das Feuerungsrost mengengeregt zugeführt wird und der andere Teil des Verbrennungsgases zumindest als Sekundärgas in mindestens einem Strahl mengengeregt zugeführt wird, wobei der Kohlenmonoxidgehalt mittels Messwertnehmer aufgenommen und einer Auswert- und Steuereinheit zugeführt wird. Aufgabe der Erfindung ist die Weiterbildung eines Feuerungssystems und eines Verfahrens zu dessen Steuerung, bei welchem in einfacher Weise die Stickoxidgehalte verringert werden. Insbesondere soll ein Verfahren zum Betrieb eines Feuerungssystems vorgeschlagen werden, welches ohne große Umbauten auf bestehende Feuerungssysteme anwendbar ist.

[0008] Die Aufgabe wird durch die Vorrichtung des Anspruchs 1 und das Verfahren des Anspruchs 6 gelöst. Die von diesen Ansprüchen abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung des Anspruchs 1 beziehungsweise des Verfahrens des Anspruchs 6 wieder.

[0009] Das vorgeschlagene Verfahren ist für die Verbrennungstechnik in mehrstufigen Feuerungssystemen vorgesehen. Mehrstufige Feuerungssysteme wie vorgeschlagen werden vorteilhafterweise in Verbrennungssystemen für feste Brennstoffe eingesetzt, bei der der feste Brennstoff in der ersten Brennstufe unter Zufuhr eines ersten Reaktionsgases wie Luft oder mit Sauerstoff angereicherter Luft in ein Abgas und damit einen ersten Volumenstrom überführt wird und der erste Volumenstrom in einer weiteren Brennstufe beispielsweise mit einem zweiten Volumenstrom eines zweiten Reaktionsgases, beispielsweise Luft und/oder zumindest teilweise rückgeführtem Abgas gegebenenfalls mit weiteren Gaszusätzen, beispielsweise Ammoniak, und/oder Wasserdampf nachverbrannt wird. Diese mehrstufigen, beispielsweise zweistufigen Prozesse können beispielsweise im

Bereich der Rostfeuerungen, beispielsweise in Müllverbrennungsanlagen, Biomassefeuerungen, Sonderabfallverbrennungsanlagen oder dergleichen mit Drehrohr-, Wirbelschicht-, Festbett-, Etagenofentechnik oder dergleichen vorgesehen werden. Die zweite Brennstufe dient im Wesentlichen der unter- und überstöchiometrischen Behandlung der Abgase des ersten Volumenstroms der ersten Brennstufe mit dem zweiten Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases und damit einem möglichst vollständigen Ausbrand von Gasspezies wie beispielsweise Kohlenmonoxid und organischen Kohlenwasserstoffen mit Luft oder zurückgeführtem Rauchgas. Hierbei erfolgt in bevorzugter Weise die Verbrennung des Brennstoffs in der ersten Brennstufe unterstöchiometrisch, so dass ein Restgehalt an nicht oder nicht vollständig oxidierten Komponenten, beispielsweise Kohlenstoff wie Ruß, Kohlenmonoxid und Ammoniak in dem ersten Volumenstrom verbleiben kann. In der Nachverbrennung der zweiten Brennstufe dienen diese unvollständig oxidierten Komponenten als Reduktionsmittel oder Katalysatoren zur Reduktion von Stickoxiden. Beispielsweise kann zwischen dem verbliebenen Ammoniak und Stickoxiden während der pulsierenden Zufuhr des zweiten Reaktionsgases im zweiten Volumenstrom und damit unter unter- und überstöchiometrischer Bedingungen während der Mischung der Volumenströme eine verbesserte Komproportionierung zu Stickstoff gefördert werden.

[0010] Unter Komponenten der beiden Volumenströme sind zugeführte und während einer Reaktion, beispielsweise der Verbrennung des Brennstoffs entstehende Gase, Verbindungen und in den Volumenströmen mitgeführte Feststoffe einfacher oder komplexer Zusammensetzung sein. Beispielsweise können als Abgase im ersten Volumenstrom die Komponenten Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserdampf, Ammoniak, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Restsauerstoff, Ruß enthalten sein. Beispielsweise können im zweiten Volumenstrom Luft, Sauerstoff mit höheren Anteilen als in der Luft, Wasserdampf, Ammoniak und Anteile des Abgases vorhanden sein. Ein dritter, als erstes Reaktionsgas zugeführter Volumenstrom kann als Komponenten Luft, mit Sauerstoff angereicherte Luft, Sauerstoff sowie gegebenenfalls weitere Komponenten enthalten.

[0011] In dem vorgeschlagenen Feuerungssystem ist zur Verringerung des Gehalts an Stickoxiden die Zufuhr eines Volumenstroms des zweiten Reaktionsgases mittels der zweiten Zufuhreinrichtung während eines Brennvorgangs zeitlich pulsierend gesteuert. Eine derartige zeitlich pulsierende Dosierung des Volumenstroms kann bei Neuanlagen von Feuerungssystemen vorgesehen und bei bereits bestehenden Feuerungsanlagen durch Anpassung der zweiten Zufuhreinrichtung in einfacher Weise nachgerüstet werden. Beispielsweise kann die zweite Zufuhreinrichtung mit einem Quetschventil, Zelleradschleusen oder dergleichen, welche mit einer vorgegebenen oder vorgebbaren Frequenz den Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases pulsierend unterbre-

chen oder kontinuierlich ändern und so zu einer zeitlichen Volumenstromstufung führen, versehen sein.

[0012] Die Pulsation wird von außen mittels einer Steuerung aufgeprägt. Unter von außen aufgeprägter Pulsation ist hierbei beispielsweise eine oszillierende oder intermittierende Änderung des Volumenstroms zu verstehen, die nachfolgend eine ebensolche pulsierende Nachverbrennung des Abgases bewirkt. Die Pulsation des Volumenstroms kann beispielsweise durch ein Sägezahn- oder Rechteckprofil abgebildet werden. Es versteht sich, dass neben einer Steuerung des Volumenstroms des zweiten Reaktionsgases auch andere Regelungen, beispielsweise eine Drucksteuerung des zweiten Reaktionsgases von der vorgeschlagenen Lösung der Aufgabe umfasst sind. Insbesondere sind alle Möglichkeiten vorgesehen, die Stöchiometrie der Komponenten des Abgases und der Komponenten des zweiten Reaktionsgases im Nachverbrennungsprozess der zweiten Brennstufe pulsierend zu ändern. Hierunter kann auch ein zusätzlich pulsierender Betrieb des ersten Reaktionsgases zu verstehen sein. Die vorgeschlagenen, von dem pulsierenden Betrieb des Volumenstroms abweichenden Zuführungsmöglichkeiten sind daher unter dem pulsierenden Betrieb des Volumenstroms zu subsumieren.

[0013] Beispielsweise wird eine oszillierende Zufuhr des zweiten Reaktionsgases in Form von Luft oder mit Sauerstoff, Wasserdampf, Ammoniak und/oder dergleichen angereicherter Luft, ein Gemisch aus diesen mit rückgeführtem Abgas, reines Abgas oder dergleichen vorgeschlagen, welches durch seine pulsierenden Eigenschaften in der Lage ist, die oxidativen und reduzierenden Eigenschaften der Mischung aus Abgas und Reaktionsgas zeitlich pulsierend so zu ändern. Auf diese Weise kann der Anteil an Stickoxiden beispielsweise durch Dis- und/oder Komproportionierungsreaktionen beziehungsweise Oxidation und Reaktion vermindert werden. Darüber hinaus kann dieses zeitlich sich ändernde stöchiometrische Verhalten der Komponenten von Abgas und zweitem Reaktionsgas mittels einer oszillierenden Zufuhr des ersten Reaktionsgases, beispielsweise Luft oder mit Sauerstoff angereicherter Luft, Wasserdampf oder ein Gemisch aus sauerstoffhaltigen Gasen bereits beim Umsatz fester Brennstoffe in der ersten Brennstufe zur Stickoxidminderung ergänzt und verbessert werden.

[0014] Die Steuerung der Pulsation ist mittels gleich langen oder unterschiedlich langen Zeitabständen erfolgen, in denen jeweils in ersten Zeitabständen kein oder wenig zweites Reaktionsgas dosiert wird und in zweiten Zeitabständen mehr Reaktionsgas in den Abgasraum dosiert wird. Alternativ oder zusätzlich kann die Dosierung frequenzabhängig, das heißt abhängig von der Wiederholungsrate von Maxima und Minima des Reaktionsgases über die Zeit und/oder abhängig von der Amplitude dieser Maxima oder Minima sein. Erfindungsgemäß wird die Frequenz abhängig vom Kohlenmonoxidgehalt nach der zweiten Brennstufe gesteuert. Beispielsweise kann auf einen mittleren Halbstundenwert von 100 mg/Nm³

Kohlenmonoxid bevorzugt auf einen mittleren Halbstundenwert kleiner 50 mg/Nm^3 Kohlenmonoxid geregelt werden. Hierbei kann die Oszillationsfrequenz des zweiten Reaktionsgases beispielsweise so gesteuert werden, dass der Halbstundenwert des Kohlenmonoxids kleiner 50 mg/Nm^3 beträgt und dabei die Stickoxidgehalte verringert, vorzugsweise minimiert werden. Eine Oszillationsfrequenz kann hierbei von weiteren Parametern, beispielsweise der Amplitude der Oszillationsfrequenz, des Sauerstoffgehalts, beigefügten weiteren Komponenten wie beispielsweise Ammoniak, Wasserdampf und gegebenenfalls einer beigemengten Gasmenge aus der Abgasrückführung, der thermischen Leistung des Feuerungssystems und/oder örtlichen Gegebenheiten abhängig sein. Ein Bereich der Oszillationsfrequenzen kann beispielsweise zwischen $0,1 \text{ Hz}$ und 10 Hz , bevorzugt $0,5 \text{ Hz}$ und 5 Hz vorgesehen sein.

[0015] Die Oszillation beziehungsweise Pulsation der zweiten Reaktionsphase kann ausschließlich während einer Verbrennungsphase vorgesehen sein und beispielsweise während einer Anfahrphase des Feuerungssystems ausgesetzt werden. In der Anfahrphase kann das zweite Reaktionsgas kontinuierlich zugeführt werden oder abgestellt sein. Beispielsweise kann die Pulsation des zweiten Reaktionsgases bei Erreichen oder Überschreiten eines vorgegebenen Gehalts an Stickoxiden im Abgas aktiviert werden, beispielsweise wenn die NO_x -Konzentrationen oberhalb von 400 mg/Nm^3 liegen. Hierzu kann die NO_x -Konzentration beispielsweise von einem Sensor oder Detektor laufend erfasst werden.

[0016] Zusammenfassend wird die Aufgabe durch ein Feuerungssystem zur Verbrennung von festem, auf ein Brennstoffbett zugeführtem Brennstoff mit einer primären Brennstufe mit einer ersten Zufuhreinrichtung zur Zufuhr eines ersten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases und einer der ersten Brennstufe nachgeschalteten sekundären Brennstufe mit einer ein zweites sauerstoffhaltiges Reaktionsgas in einen Abgasraum oberhalb des Brennstoffbetts zuführenden zweiten Zufuhreinrichtung gelöst, wobei mittels der zweiten Zufuhreinrichtung während eines Brennvorgangs ein Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases zeitlich pulsierend gesteuert ist. Der Volumenstrom kann oszillierend oder intermittierend einstellbar sein. Der Volumenstrom kann in Form eines Sägezahnprofils oder Rechteckprofils getaktet sein. Die zweite Zufuhreinrichtung kann mit einem zeitlich getakteten Quetschventil oder einer Zellradschleuse versehen sein. Das zweite Reaktionsgas kann sauerstoffhaltig und/oder wasserdampfhaltig sein. Weiterhin wird die Aufgabe durch ein Verfahren zum Betrieb eines Feuerungssystems zur Verbrennung eines festen, auf ein Brennstoffbett zugeführten Brennstoffs mit einer ersten Brennstufe mit einer ersten Zuführungseinrichtung zur Zufuhr eines ersten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases und einer zweiten Brennstufe mit einer zweiten Zufuhreinrichtung für eine Zufuhr eines zweiten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases in einen der ersten Brennstufe nachfolgenden Abgasraum gelöst, wobei der Brennstoff in der ersten

Brennstufe unter unterstöchiometrischen Bedingungen oxidiert wird und durch eine periodisch variierte Zufuhr des zweiten Reaktionsgases eine Nachverbrennung von Abgasen der ersten Brennstufe zeitlich wechselnd unter unterstöchiometrischen und überstöchiometrischen Reaktionsbedingungen durchgeführt wird. In einander abwechselnden Zeitabständen kann ein Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases gesteigert und abgeschwächt werden. Die Zeitabstände einer Steigerung des Volumenstroms können gleich oder ungleich den Zeitabständen einer Abschwächung des Volumenstroms sein. Der Volumenstrom kann zeitabhängig in Rechteckform oder Sägezahnform variiert werden. Eine Frequenz des Volumenstroms wie Oszillationsfrequenz kann abhängig von einem Kohlenmonoxidgehalt des Abgases gesteuert werden. Die Frequenz kann auf einen Kohlenmonoxidgehalt kleiner 100 mg/Nm^3 , bevorzugt kleiner 50 mg/Nm^3 eingestellt werden. Dem zweiten Reaktionsgas kann Ammoniak beigemischt werden. Dem zweiten Reaktionsgas kann Wasserdampf beigemischt werden. Dem zweiten Reaktionsgas können Anteile des Abgases des Feuerungssystems beigemischt werden oder das zweite Reaktionsgas kann aus dem Abgas des Feuerungssystems gebildet werden. Das erste Reaktionsgas kann ebenfalls moduliert wie zeitlich pulsierend, oszillierend oder intermittierend betrieben werden.

[0017] Die Erfindung wird anhand der in den Figuren 1 bis 5 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei zeigen:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines Feuerungssystems,
- Figur 2 eine schematische Darstellung eines Feuerungssystems mit gegenüber dem Feuerungssystem der Figur 1 verringerten Ausmaßen,
- Figur 3 eine systematische Darstellung eines pulsierenden Betriebs der Zufuhreinrichtung zur Zufuhr des zweiten Reaktionsgases,
- Figur 4 ein Diagramm zur Darstellung eines Ablaufs eines Brennvorgangs des Feuerungssystems der Figur 2 und
- Figur 5 ein Diagramm der Kohlenmonoxid- und Stickoxidgehalte im Abgas des Feuerungssystems abhängig von der Frequenz des zweiten Reaktionsgases.

[0018] Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung das Feuerungssystem 1 mit dem Brennstoffbunker 2 und dem Beschicktrichter 4 mit Stößel 3, welcher den festen Brennstoff 5 auf das als Rost ausgebildete Brennstoffbett 6 transportiert. Auf dem Brennstoffbett 6 wird der Brennstoff 5 in der ersten Brennstufe 7 unter Zufuhr des ersten Reaktionsgases 8 über die erste Zufuhreinrichtung 9 unter unterstöchiometrischen Bedingungen verbrannt, das heißt oxidiert. Als erstes Reaktionsgas 8 wird bevorzugt Luft oder mit Sauerstoff angereicherte Luft verwendet.

Der feste Brennstoff 5 kann aus Müll, Biomasse, Kohle, Koks oder Mischungen dieser gebildet sein. Die erste Zufuhreinrichtung 9 ist hier beispielsweise als Gebläse ausgebildet. Die Asche der ersten Brennstufe 7 wird in den Aschekasten 10 ausgetragen.

[0019] Über der ersten Brennstufe 7 ist im Abgasrohr 11 die zweite Brennstufe 12 zur Nachverbrennung nicht vollständig oxidierter Komponenten des ersten Volumenstroms in Form des Abgases der ersten Brennstufe 7 angeordnet. An der zweiten Brennstufe 12 ist die zweite Zufuhreinrichtung 13 zur Zufuhr des zweiten Reaktionsgases 14 vorgesehen. Die zweite Zufuhreinrichtung 13 dosiert zumindest zeitweise pulsierend mit einer bevorzugt regelbaren Wiederholungsrate wie Oszillationsfrequenz, beispielsweise 0,1 Hz bis 10 Hz, bevorzugt 0,5 Hz bis 5 Hz den zweiten Volumenstrom. Das zweite Reaktionsgas 14 ist aus Luft, mit Sauerstoff angereicherter Luft, mit Ammoniak, Wasserdampf oder dergleichen angereicherter Luft, teilweise aus Abgas des Feuerungssystems 1 vermischter Luft oder komplett aus Abgas gebildet. Die zweite Zufuhreinrichtung 13 verfügt über eine Einrichtung zur Ausbildung der Pulsation eines Volumenstroms des zweiten Reaktionsgases 14, beispielsweise ein Quetschventil, eine Zellradschleuse oder dergleichen. Durch die sich hierdurch einstellende pulsierend ändernde Stöchiometrie zwischen den nicht vollständig verbrannten Komponenten der ersten Brennstufe 7 und den Komponenten des zweiten Reaktionsgases 14, insbesondere Sauerstoff wird die spezielle Reaktionschemie der im Abgas mitgeführten Stickoxide positiv beeinflusst, so dass deren Gehalt absinkt, indem diese beispielsweise unter Sauerstoffmangel zu Stickstoff reduziert werden. Gleichzeitig ist unter Sauerstoffüberschuss die Oxidation der übrigen, nicht vollständig verbrannten Komponenten des Abgases der ersten Brennstufe 7 wie Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe vorteilhaft durch die Pulsation beeinflussbar, so dass deren Gehalt abnimmt.

[0020] Die Figur 2 zeigt das gegenüber dem Feuerungssystem 1 der Figur 1 mit verringerten Ausmaßen hergestellte Feuerungssystem 1a in schematischer Darstellung mit der im Batch-Verfahren betriebenen Brennkammer 3a, die mit Brennstoff 5a befüllt ist. Über das Brennstoffbett 6a in Form eines Rosts wird von unten das erste Reaktionsgas in Richtung des Pfeils 15a eingebracht und damit die erste Brennstufe 7a gebildet. Über das Abgasrohr 11a gelangt das aus einer in der ersten Brennstufe 7a erfolgenden unterstöchiometrischen Verbrennung resultierende Abgas in die Nachbrennkammer 16a, in die in Richtung des Pfeils 17a pulsierend das zweite Reaktionsgas zur Ausbildung der zweiten Brennstufe 12a eingebracht wird. Die Einbringung des zweiten Reaktionsgases kann grundsätzlich an allen Feuerungssystemen einstellbar senkrecht oder in jedem anderen Winkel gegenüber der Bewegungsrichtung des Abgases mit oder gegen die Bewegungsrichtung vorgesehen werden. Hierbei kann eine gezielte Vermischung des Abgases und des zweiten Reaktionsgases gesteuert werden.

[0021] An dem als Modellanlage konzipierten Feuerungssystem 1a sind an unterschiedlichen Stellen, beispielsweise die hier bezeichneten Messstellen 18a, 19a, 20a vorgesehen, wobei die Messstelle 19a einen optischen Zugang erlaubt und die Messstellen 18a, 20a eine Analyse der an diesen Stellen vorhandenen Komponenten beispielsweise nach der ersten Brennstufe 7a und nach der zweiten Brennstufe 12a erlauben. An die Nachbrennkammer 16a schließen sich in Bewegungsrichtung des Abgases der Wärmetauscher 21a, die Filterkammer 22a, die Venturidüse 23a, der Kohleadsorber 24a und das Gebläse 25a an. Figur 3 zeigt schematisch den zweiten Volumenstrom mit einer oszillierenden Zufuhr von Luft zur Durchführung der zweiten Brennstufe, die in Bewegungsrichtung des Abgases der ersten Brennstufe nachfolgend angeordnet ist. Das zweite Reaktionsgas wird zum ersten Volumenstrom wie Abgas der ersten Brennstufe mittels der zweiten Zufuhreinrichtung über die Zeit t pulsierend zugeführt. Hierbei kommt es nicht oder nicht wesentlich auf die Vermischung der Komponenten an. Vielmehr wird die erste Brennstufe unterstöchiometrisch mit Sauerstoff, also mit einem Verbrennungsluftverhältnis $\lambda < 1$ betrieben, so dass in der zweiten Brennstufe durch die pulsierende Betriebsweise des zweiten Reaktionsgases in ersten Zeitabschnitten Δt_1 kein oder weniger und in mit diesen abwechselnden zweiten Zeitabschnitten Δt_2 mehr Sauerstoff an den ersten Volumenstrom herangeführt wird. Hierbei verbleiben in den ersten Zeitabschnitten Δt_1 beispielsweise nicht vollständig oxidierte Komponenten wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffverbindungen wie Ammoniak (NH₃) und Stickoxide (NO_x) in dem ersten Volumenstrom aus der ersten Brennstufe wie Primärfeuerung. Wird in den zweiten Zeitabschnitten Δt_2 dem Abgas aus der Primärverbrennung ausreichend Luft beziehungsweise Sauerstoff zugeführt, so dass die Verbrennungsluftzahl $\lambda > 1$ resultiert, werden Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid (CO₂) und die Stickoxide mit dem Ammoniak in Sauerstoff (O₂) und Wasser (H₂O) umgesetzt. Bei bekanntem dauerhaftem Betrieb mit einer Verbrennungsluftzahl $\lambda > 1$ werden die Stickoxide weiteroxidiert und können nicht reduziert werden. Die Zeitabschnitte Δt_1 und Δt_2 können dabei unterschiedlich lang sein, ebenso kann die Höhe der Amplitude ΔA variieren. Die Verweilzeit der Mischung aus Abgas und zweitem Reaktionsgas kann damit sowohl über die zeitliche Länge der Zeitabschnitte Δt_1 , Δt_2 , die Amplitude ΔA sowie durch die Frequenz, das heißt die Wiederholungsrate der Zeitabschnitte Δt_1 , Δt_2 eingestellt werden. Erfindungsgemäß wird der Kohlenmonoxidgehalt zur Steuerung der Oszillationsfrequenz verwendet. Beispielsweise kann auf einen derzeit gültigen Halbstundenmittelwert von 100 mg/Nm³ für Abfallverbrennungsanlagen oder bevorzugt auf zirka 50 % des Grenzwertes, das heißt, kleiner 50 mg/Nm³ CO geregelt werden. Die Oszillationsfrequenz wird dabei in bevorzugter Weise so angepasst, dass ein Kohlenmonoxidgehalt kleiner 50 mg/Nm³ erzielt und der Stickoxidgehalt verringert wird.

[0022] Die Figur 4 zeigt das Diagramm 26 eines in dem

Feuerungssystem 1a der Figur 2 durchgeführten modellhaften Verbrennungsvorgangs mit unterschiedlichen Parametern über die Zeit t . Die Kurve 27 zeigt den Verlauf des Volumenstroms des ersten Reaktionsgases - hier Luft. Die Kurve 28 zeigt den Verlauf des zweiten Volumenstroms des zweiten Reaktionsgases - hier Luft. Die Kurve 29 zeigt den Verlauf des Sauerstoffgehalts, die Kurve 30 den Verlauf des Kohlendioxidgehalts, die Kurve 31 den Verlauf des Kohlenmonoxidgehalts und die Kurve 32 den Verlauf des Stickoxidgehalts jeweils an der Messstelle 20a (Figur 2). Die Kurve 33 zeigt den Verlauf des Stickstoffkonversionsgrads von Stickoxid zu Stickstoff.

[0023] Zwischen Minute 14 und Minute 45 wird der Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases pulsierend betrieben. Dadurch nimmt unter anderem systembedingt an den Pulsminima der Sauerstoffgehalt ab. Der Stickstoffkonversionsgrad nimmt zu. Demzufolge nimmt der Stickoxidgehalt im Abgas signifikant bei gleichzeitig niedrigem Kohlenmonoxidgehalt ab.

[0024] Die Figur 5 zeigt das Diagramm 34 mit den Balken 35, 36, 37 für den Kohlenmonoxidgehalt und mit den Balken 38, 39, 40 für den Stickoxidgehalt über unterschiedliche Oszillationsfrequenzen f . Die Balken 35, 38 zeigen die Gehalte bei kontinuierlicher Zufuhr - also Frequenz $f = 0$ - des zweiten Reaktionsgases in das Feuerungssystem 1a der Figur 2. Bereits mit einer herkömmlichen Nachverbrennung ist dabei eine ausreichende Reduzierung der Kohlenmonoxidgehalte beispielsweise von zirka 10 mg/Nm^3 CO bezogen auf 11 Volumenprozent Sauerstoff möglich. Allerdings verbleiben die Stickoxidgehalte auf einem hohen Niveau von beispielsweise zirka 600 mg/Nm^3 NO_x bezogen auf 11 Volumenprozent Sauerstoff. Wird in der vorgegebenen Versuchsumgebung das zweite Reaktionsgas mit der Oszillationsfrequenz $f = 1 \text{ Hz}$ pulsierend in die zweite Brennstufe überführt, vermindert sich in Balken 39 der Stickoxidgehalt zwar auf zirka die Hälfte, der Gehalt an Kohlenmonoxid in Balken 36 vergrößert sich aber um ein Vielfaches. Wird die Oszillationsfrequenz $f = 2 \text{ Hz}$ eingestellt, kann der Gehalt an Kohlendioxid in Balken 37 wieder auf den ursprünglichen Wert bei nicht pulsierendem Betrieb gesenkt werden. Gleichzeitig bleibt der Gehalt an Stickoxiden in Balken 40 im Bereich der Hälfte des Gehalts an Stickoxiden bei nicht pulsierendem Betrieb. Bei diesen Ergebnissen wird davon ausgegangen, dass die Gehalte bei pulsierendem Betrieb unter anderem abhängig von den Systemeigenschaften des Feuerungssystems 1a (Figur 2) sind und dass für jedes Feuerungssystem die optimalen Oszillationsfrequenzen separat zu ermitteln sind. Insoweit sind die vorgeschlagenen Oszillationsfrequenzen für die Erfindung nicht begrenzend.

Bezugszeichenliste

[0025]

- 1 Feuerungssystem
- 1a Feuerungssystem

- 2 Brennstoffbunker
- 3 Stößel
- 3a Brennkammer
- 4 Beschicktrichter
- 5 Brennstoff
- 5a Brennstoff
- 6 Brennstoffbett
- 6a Brennstoffbett
- 7 erste Brennstufe
- 7a erste Brennstufe
- 8 erstes Reaktionsgas
- 9 Zufuhreinrichtung
- 10 Aschekasten
- 11 Abgasrohr
- 11a Abgasrohr
- 12 zweite Brennstufe
- 12a zweite Brennstufe
- 13 zweite Zufuhreinrichtung
- 14 zweites Reaktionsgas
- 15a Pfeil
- 16a Nachbrennkammer
- 17a Pfeil
- 18a Messstelle
- 19a Messstelle
- 20a Messstelle
- 21a Wärmetauscher
- 22a Filterkammer
- 23a Venturidüse
- 24a Kohleabsorber
- 25a Gebläse
- 26 Diagramm
- 27 Kurve
- 28 Kurve
- 29 Kurve
- 30 Kurve
- 31 Kurve
- 32 Kurve
- 33 Kurve
- 34 Diagramm
- 35 Balken
- 36 Balken
- 37 Balken
- 38 Balken
- 39 Balken
- 40 Balken

Patentansprüche

- 1. Feuerungssystem (1, 1a) zur Verbrennung von festem, auf ein Brennstoffbett (6, 6a) zugeführtem Brennstoff (5, 5a) mit einer primären Brennstufe (7, 7a) mit einer ersten Zufuhreinrichtung (9) zur Zufuhr eines ersten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases (8) und Durchführung eines unvollständigen Verbrennungsvorgangs mit Erzeugung eines ersten Volumenstroms und einer der ersten Brennstufe (7, 7a) nachgeschalteten sekundären Brennstufe (12, 12a) mit

- einem von einer zweiten Zufuhreinrichtung (13) zugeführten zweiten Volumenstrom eines zweiten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases (14) in einen Abgasraum oberhalb des Brennstoffbetts (6, 6a), wobei mittels der zweiten Zufuhreinrichtung (13) eine über die Zeit stöchiometrisch geänderte Mischung von Komponenten der Volumenströme vorgesehen ist, indem die zweite Zufuhreinrichtung (13) mittels einer Steuerung zeitlich pulsierend gesteuert ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung eingerichtet ist, in einander abwechselnden Zeitabständen (Δt_1 , Δt_2) den zweiten Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases (14) zu steigern und abzuschwächen, derart, dass eine Oszillationsfrequenz (f) des zweiten Volumenstroms abhängig von einem Kohlenmonoxidgehalt des Abgases gesteuert wird.
2. Feuerungssystem (1, 1a) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Volumenstrom oszillierend einstellbar ist.
 3. Feuerungssystem (1, 1a) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Volumenstrom intermittierend einstellbar ist.
 4. Feuerungssystem (1, 1a) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Zufuhreinrichtung (13) mit einem zeitlich getakteten Quetschventil oder Zellradschleuse versehen ist.
 5. Feuerungssystem (1, 1a) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einer der beiden Volumenströme ammoniakhaltig und/oder wasserdampfhaltig ist.
 6. Verfahren zum Betrieb eines Feuerungssystems (1, 1a) zur Verbrennung eines festen, auf ein Brennstoffbett (6, 6a) zugeführten Brennstoffs (5, 5a) mit einer ersten Brennstufe (7, 7a) mit einer ersten Zufuhreinrichtung (9) zur Zufuhr eines ersten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases (8) und einer zweiten Brennstufe (12, 12a) mit einer zweiten Zufuhreinrichtung (13) für eine Zufuhr eines zweiten sauerstoffhaltigen Reaktionsgases (14) in einen der ersten Brennstufe (7, 7a) nachfolgenden Abgasraum, wobei der Brennstoff (5, 5a) in der ersten Brennstufe (7, 7a) unter unterstöchiometrischen Bedingungen zu einem ersten Volumenstrom oxidiert wird und durch Zufuhr eines zweiten, periodisch variierten Volumenstroms des zweiten Reaktionsgases (14) eine Nachverbrennung von Abgasen der ersten Brennstufe (7, 7a) zeitlich wechselnd unter unterstöchiometrischen und überstöchiometrischen Reaktionsbedingungen durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einander abwechselnden Zeitabständen (Δt_1 , Δt_2) der zweite Volumenstrom des zweiten Reaktionsgases (14) gesteigert und abgeschwächt wird, derart, dass eine Oszillationsfrequenz (f) des zweiten Volumenstroms abhängig von einem Kohlenmonoxidgehalt des Abgases gesteuert wird.
 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zeitabstände (Δt_2) einer Steigerung des zweiten Volumenstroms gleich den Zeitabständen (Δt_1) einer Abschwächung des zweiten Volumenstroms sind.
 8. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zeitabstände (Δt_2) einer Steigerung des zweiten Volumenstroms ungleich den Zeitabständen (Δt_1) einer Abschwächung des zweiten Volumenstroms sind.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Volumenstrom zeitabhängig in Rechteckform oder Sägezahnform variiert wird.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenz auf einen Kohlenmonoxidgehalt kleiner 100 mg/Nm³ eingestellt wird.
 11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenz auf einen Kohlenmonoxidgehalt kleiner 50 mg/Nm³ eingestellt wird.
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine unvollständige Verbrennung des Brennstoffs (5, 5a) auf einen Restgehalt an Ammoniak im ersten Volumenstrom geregelt und/oder dem zweiten Volumenstrom Ammoniak beigemischt wird.
 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem zweiten Reaktionsgas (14) Wasserdampf beigemischt wird.
 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem zweiten Volumenstrom Anteile des ersten Volumenstroms beigemischt werden.
 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Reaktionsgas (8) moduliert betrieben wird.

Claims

1. Firing system (1, 1a) for the combustion of solid fuel (5, 5a) supplied to a fuel bed (6, 6a) with a primary combustion stage (7, 7a) having a first supply device (9) for supplying a first oxygen-containing reaction gas (8) and performing an incomplete combustion

- process by generating a first volume flow and a secondary combustion stage (12, 12a) downstream of the first combustion stage (7, 7a) with a second volume flow of a second oxygen-containing reaction gas (14) supplied by a second supply device (13) into an exhaust gas chamber above the fuel bed (6, 6a), wherein by means of the second supply device (13) a mixture of components of the volume flows is provided which has changed stoichiometrically over time, in that the second supply device (13) is controlled in a pulsating manner by means of a controller, **characterised in that** the controller is configured to increase and reduce the second volume flow of the second reaction gas (14) in alternating time intervals (Δt_1 , Δt_2) such that an oscillation frequency (f) of the second volume flow is controlled as a function of a carbon monoxide content of the exhaust gas.
2. Firing system (1, 1a) according to claim 1, **characterised in that** the volume flow can be set to be oscillating
 3. Firing system (1, 1a) according to claim 2, **characterised in that** the volume flow can be set to be intermittent.
 4. Firing system (1, 1a) according to claim 2 or 3, **characterised in that** the second supply device (13) is provided with a clock-timed pinch valve or rotary feeder.
 5. Firing system (1, 1a) according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** at least one of the two volume flows contains ammonia and/or water vapour.
 6. Method for operating a firing system (1, 1a) for combusting a solid fuel (5, 5a) supplied to a fuel bed (6, 6a) with a first combustion stage (7, 7a) having a first supply device (9) for supplying a first oxygen-containing reaction gas (8) and a second combustion stage (12, 12a) having a second supply device (13) for supplying a second oxygen-containing reaction gas (14) into an exhaust gas chamber following the first combustion stage (7, 7a), wherein the fuel (5, 5a) in the first combustion stage (7, 7a) is oxidised in substoichiometric conditions to a first volume flow and by supplying a second, periodically varied volume flow of the second reaction gas (14) a post-combustion takes place of exhaust gases of the first combustion stage (7, 7a) changing overtime in substoichiometric and superstoichiometric reaction conditions, **characterised in that** at changing time intervals (Δt_1 , Δt_2) the second volume flow of the second reaction gas (14) is increased and decreased such that an oscillation frequency (f) of the second volume flow is controlled as a function of a carbon monoxide content of the exhaust gas.
 7. Method according to claim 6, **characterised in that** the time intervals (Δt_2) of an increase of the second volume flow are equal to the time intervals (Δt_1) of a decrease of the second volume flow.
 8. Method according to claim 6, **characterised in that** the time intervals (Δt_2) of an increase of the second volume flow are not equal to the time intervals (Δt_1) of a decrease of the second volume flow.
 9. Method according to any of claims 6 to 8, **characterised in that** the second volume flow is varied as a function of time in rectangular form or saw tooth form.
 10. Method according to any of claims 6 to 9, **characterised in that** the frequency is set to a carbon monoxide content of less than 100 mg/Nm³.
 11. Method according to claim 10, **characterised in that** the frequency is set to a carbon monoxide content of less than 50 mg/Nm³.
 12. Method according to any of claims 6 to 11, **characterised in that** an incomplete combustion of the fuel (5, 5a) is controlled to a residual content of ammonia in the first volume flow and/or ammonia is admixed to the second volume flow.
 13. Method according to any of claims 6 to 12, **characterised in that** water vapour is admixed to the second reaction gas (14).
 14. Method according to any of claims 6 to 13, **characterised in that** portions of the first volume flow are admixed to the second volume flow.
 15. Method according to any of claims 6 to 14, **characterised in that** the first reaction gas (8) is modulated in operation.
- ### Revendications
1. Système de combustion (1, 1a) pour la combustion d'un combustible solide (5, 5a) amené sur un lit de combustible (6, 6a), comportant un étage de combustion primaire (7, 7a) avec un premier dispositif d'amenée (9) pour l'amenée d'un premier gaz de réaction (8) contenant de l'oxygène et pour la réalisation d'un processus de combustion incomplet avec génération d'un premier débit volumétrique et comportant un étage de combustion secondaire (12, 12a) en aval du premier étage de combustion (7, 7a), avec un deuxième débit volumétrique d'un deuxième gaz de réaction (14) contenant de l'oxygène, amené par un deuxième dispositif d'amenée (13) dans une chambre de gaz d'échappement au-

- dessus du lit de combustible (6, 6a), dans lequel un mélange de composants des débits volumétriques, qui est modifié de manière stœchiométrique dans le temps, est prévu au moyen du deuxième dispositif d'amenée (13) par le fait que le deuxième dispositif d'amenée (13) est commandé de manière pulsée dans le temps au moyen d'une commande, **caractérisé en ce que** la commande est configurée pour augmenter et diminuer le deuxième débit volumétrique du deuxième gaz de réaction (14) dans des intervalles de temps (Δt_1 , Δt_2) alternés, de telle sorte qu'une fréquence d'oscillation (f) du deuxième débit volumétrique est commandée en fonction de la teneur en monoxyde de carbone du gaz d'échappement.
2. Système de combustion (1, 1a) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le débit volumétrique est réglable de manière oscillante.
 3. Système de combustion (1, 1a) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le débit volumétrique est réglable par intermittence.
 4. Système de combustion (1, 1a) selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le deuxième dispositif d'amenée (13) est muni d'une soupape à écrasement ou d'une soupape rotative cadencée dans le temps.
 5. Système de combustion (1, 1a) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des deux débits volumétriques contient de l'ammoniac et/ou de la vapeur d'eau.
 6. Procédé pour faire fonctionner un système de combustion (1, 1a) pour la combustion d'un combustible solide (5, 5a) amené sur un lit de combustible (6, 6a), comportant un premier étage de combustion (7, 7a) avec un premier dispositif d'amenée (9) pour l'amenée d'un premier gaz de réaction (8) contenant de l'oxygène et comportant un deuxième étage de combustion (12, 12a) avec un deuxième dispositif d'amenée (13) pour une amenée d'un deuxième gaz de réaction (14) contenant de l'oxygène dans une chambre de gaz d'échappement en aval du premier étage de combustion (7, 7a), dans lequel le combustible (5, 5a) est oxydé dans le premier étage de combustion (7, 7a), dans des conditions sous-stœchiométriques, de manière à obtenir un premier débit volumétrique et, par l'amenée d'un deuxième débit volumétrique, variant périodiquement, du deuxième gaz de réaction (14), une postcombustion de gaz de déchargement du premier étage de combustion (7, 7a) est réalisée en alternance dans le temps dans des conditions de réaction sous-stœchiométriques et sur-stœchiométriques, **caractérisé en ce que** dans des intervalles de temps (Δt_1 , Δt_2) alternés, le deuxième débit volumétrique du deuxième gaz de réaction (14) est augmenté et diminué, de telle sorte qu'une fréquence d'oscillation (f) du deuxième débit volumétrique est commandée en fonction d'une teneur en monoxyde de carbone du gaz d'échappement.
 7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les intervalles de temps (Δt_2) d'une augmentation du deuxième débit volumétrique sont égaux aux intervalles de temps (Δt_1) d'une diminution du deuxième débit volumétrique.
 8. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les intervalles de temps (Δt_2) d'une augmentation du deuxième débit volumétrique sont inégaux par rapport aux intervalles de temps (Δt_1) d'une diminution du deuxième débit volumétrique.
 9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, **caractérisé en ce que** le deuxième débit volumétrique est modifié en fonction du temps en forme de rectangle ou en forme de dents de scie.
 10. Procédé selon l'une des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** la fréquence est ajustée à une teneur en monoxyde de carbone inférieure à 100 mg/Nm³.
 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la fréquence est ajustée à une teneur en monoxyde de carbone inférieure à 50 mg/Nm³.
 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, **caractérisé en ce que** la combustion incomplète du combustible (5, 5a) est régulée à une teneur résiduelle en ammoniac dans le premier débit volumétrique et/ou de l'ammoniac est ajouté au deuxième débit volumétrique.
 13. Procédé selon l'une des revendications 6 à 12, **caractérisé en ce que** de la vapeur d'eau est ajoutée au deuxième gaz de réaction (14).
 14. Procédé selon l'une des revendications 6 à 13, **caractérisé en ce que** des portions du premier débit volumétrique sont ajoutées au deuxième débit volumétrique.
 15. Procédé selon l'une des revendications 6 à 14, **caractérisé en ce que** le premier gaz de réaction (8) est exploité en modulation.

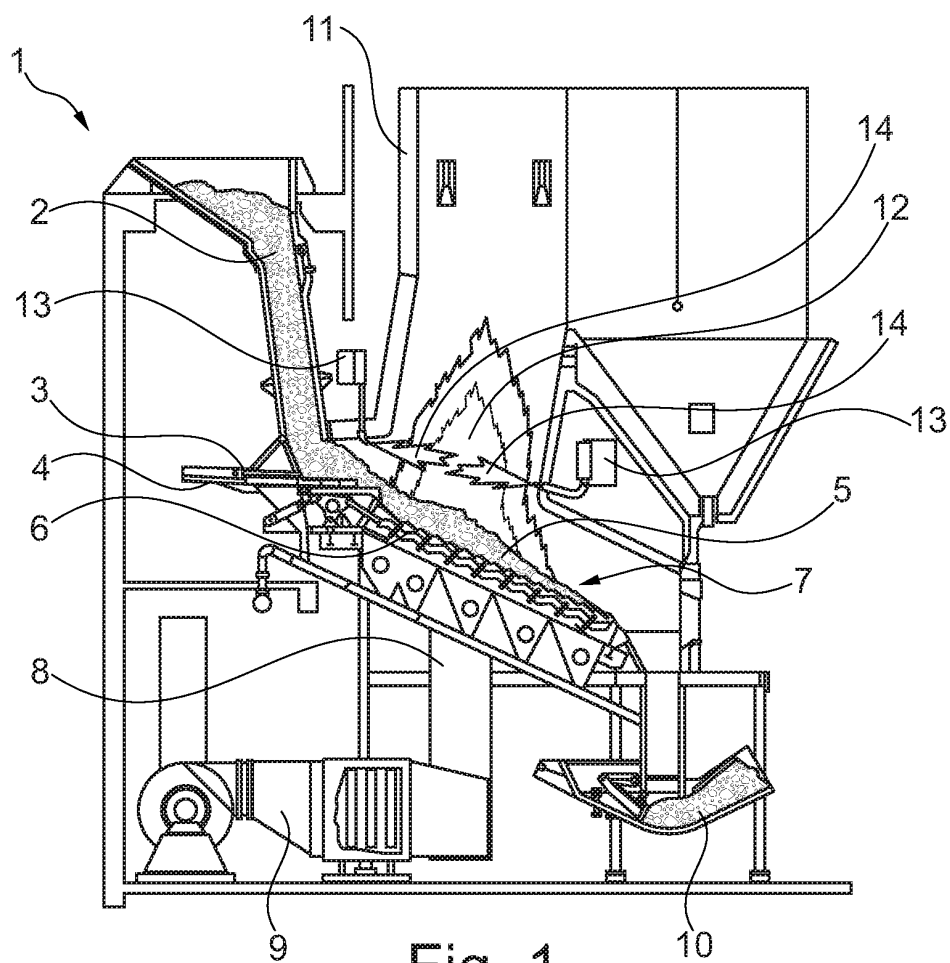


Fig. 1

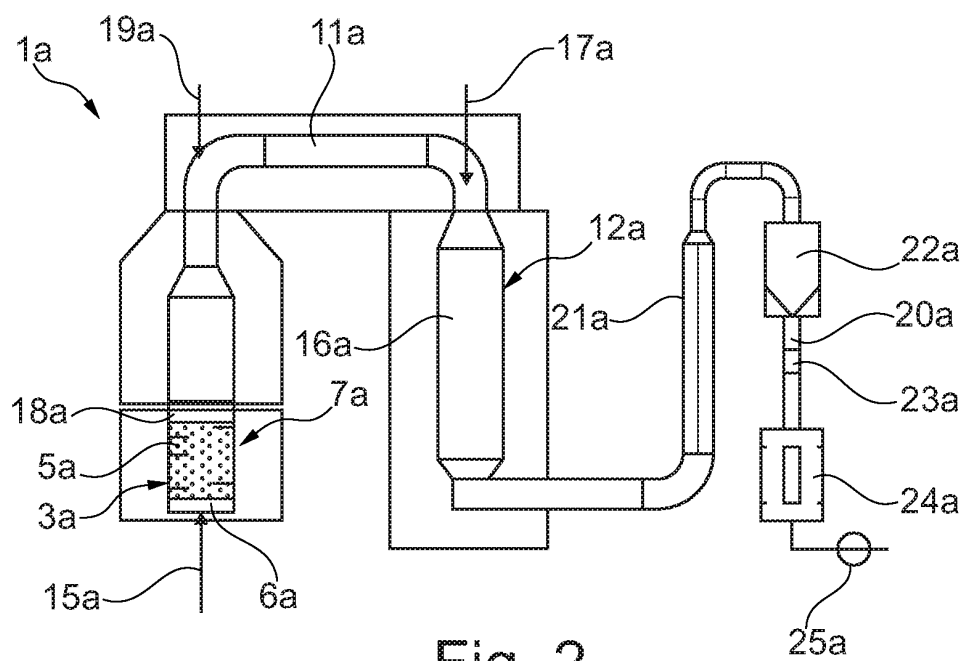


Fig. 2

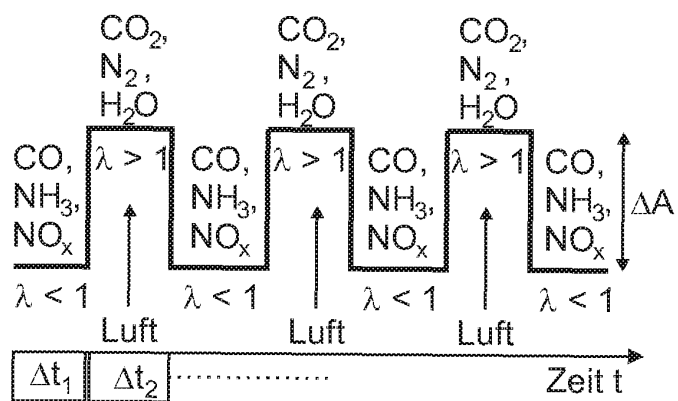


Fig. 3

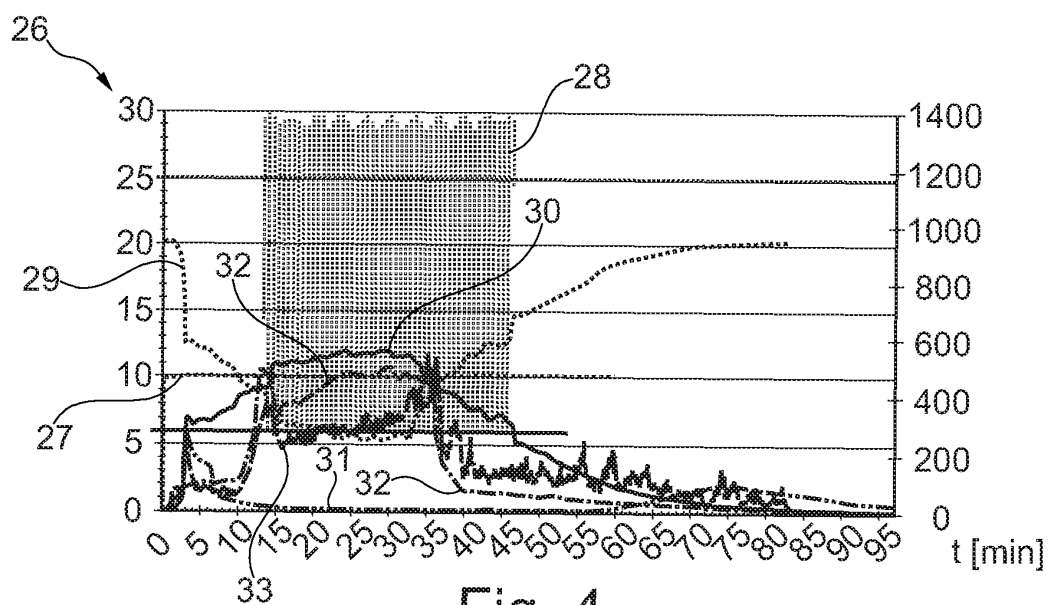


Fig. 4

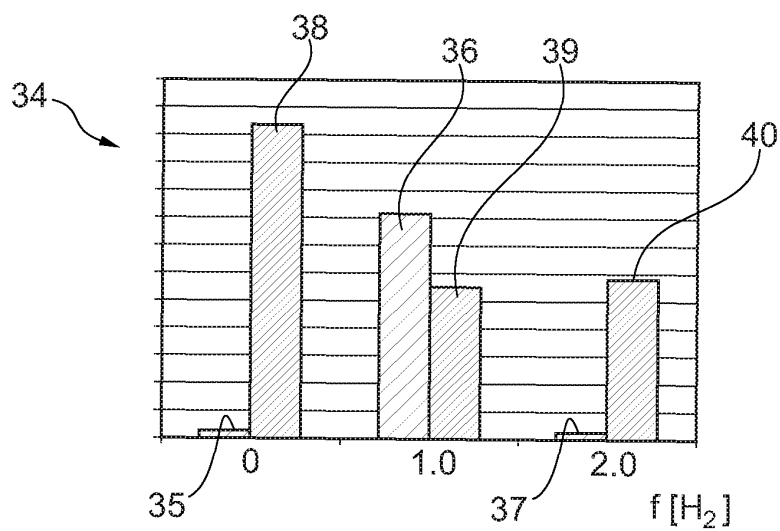


Fig. 5

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

- DE 10347340 A1 [0003]
- DE 202006005464 B3 [0004]
- WO 9424484 A1 [0005]
- WO 03083370 A1 [0006]
- DE 4301082 A1 [0007]