

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50327/2023
(22) Anmeldetag: 02.05.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2024

(51) Int. Cl.: **B01D 53/00** (2006.01)
B01D 53/86 (2006.01)
B01D 53/94 (2006.01)
F01N 3/10 (2006.01)
F01N 9/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 3326100 A1
DE 19521522 A1
EP 2987548 A2
KR 20200130261 A
DE 102009003610 A1

(71) Patentanmelder:
Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH
2564 Weissenbach (AT)

(72) Erfinder:
Obernberger Ingwald Dipl.-Ing. Dr.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
BEER & PARTNER PATENTANWÄLTE KG
1070 Wien (AT)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen eines Rauchgases**

(57) Bei einem Verfahren zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem Gas oder Gasgemisch, das direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen erzeugt wird, wird das Rauchgas in einer Gasbrennkammer (2) erzeugt, die an einem Ende einen Gaseinlass (3), an ihrem anderen Ende einen Gasauslass (4), und dazwischen einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) aufweist. Der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) teilt die Gasbrennkammer (2) in einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen vorderen Bereich (6) und einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen hinteren Bereich (7) mit thermisch isolierten Wänden (8) auf. Beim Verfahren werden die in Strömungsrichtung (S) hintereinander erfolgenden Schritte ausgeführt:

- Einleiten des Gases in die Gasbrennkammer (2),
- Verbrennen des Gases oder Gasgemisches in einer ersten Verbrennungszone (11), bei einem auf 0,80 bis 0,99 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer auf 800°C bis 1000°C geregelten Temperatur,
- Reinigen des Gases im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5),
- Nachverbrennen des Gases in einer zweiten Verbrennungszone (16), bei einem auf > 1 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer Temperatur von > 800°C
- Auslassen des erzeugten Rauchgases aus der Gasbrennkammer.

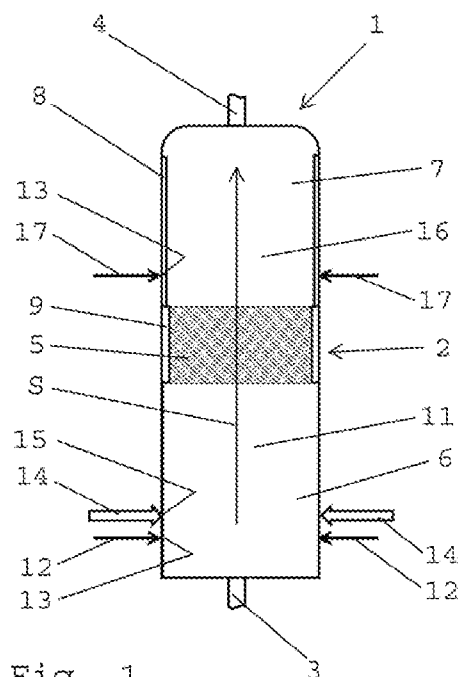


Fig. 1

Zusammenfassung:

Bei einem Verfahren zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem Gas oder Gasgemisch, das direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen erzeugt wird, wird das Rauchgas in einer Gasbrennkammer (2) erzeugt, die an einem Ende einen Gaseinlass (3), an ihrem anderen Ende einen Gasauslass (4), und dazwischen einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) aufweist. Der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) teilt die Gasbrennkammer (2) in einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen vorderen Bereich (6) und einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen hinteren Bereich (7) mit thermisch isolierten Wänden (8) auf. Beim Verfahren werden die in Strömungsrichtung (S) hintereinander erfolgenden Schritte ausgeführt:

- Einleiten des Gases in die Gasbrennkammer (2),
- Verbrennen des Gases oder Gasgemisches in einer ersten Verbrennungszone (11), bei einem auf 0,80 bis 0,99 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer auf 800°C bis 1000°C geregelten Temperatur,
- Reinigen des Gases im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5),
- Nachverbrennen des Gases in einer zweiten Verbrennungszone (16), bei einem auf > 1 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer Temperatur von > 800°C
- Auslassen des erzeugten Rauchgases aus der Gasbrennkammer.

(Fig. 1)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem brennbaren und staubarmen Gas oder Gasgemisch, das direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen erzeugt wird, wobei das Rauchgas in einer Gasbrennkammer erzeugt wird, die an einem Ende einen Gaseinlass, an ihrem anderen Ende einen Gasauslass, und dazwischen einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator aufweist, der die Gasbrennkammer in einen in Strömungsrichtung gesehenen vorderen Bereich und einen in Strömungsrichtung gesehenen hinteren Bereich mit thermisch isolierten Wänden aufteilt.

Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem brennbaren und staubarmen Gas oder Gasgemisch, die direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen erzeugt werden, mit einer Gasbrennkammer, die an einem Ende einen Gaseinlass und an ihrem anderen Ende einen Gasauslass aufweist.

Verfahren und Vorrichtungen zur Erzeugung heißer Rauchgase durch die thermochemische Konversion von Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen bzw. biogenen Abfällen sind hinlänglich bekannt und werden vielseitig eingesetzt. In diesem Zusammenhang lässt sich der Begriff Rauchgas auch durch den gleichbedeutenden Begriff Abgas ersetzen und umgekehrt.

Die derart erzeugten heißen Rauchgase können für mehrere Zwecke verwendet werden, z.B. zur Herstellung von Dampf, heißem Wasser oder heißen Thermoölen.

Konventionelle Biomasseverbrennungstechnologien zur Erzeugung heißer Abgase setzen relativ hohe Stickoxidemissionen frei, die auf der teilweise stattfindenden Umwandlung von dem im Brennstoff enthaltenen Stickstoff in Stickoxide (NO_x) beruhen.

Die NO_x-Emissionen von Biomasseverbrennungsanlagen sind somit typischerweise direkt vom Stickstoffgehalt des eingesetzten Brennstoffes abhängig.

Die NO_x-Emissionen von Biomasseverbrennungsanlagen können durch moderne, gestufte Verbrennungssysteme zwar etwas reduziert werden, jedoch reicht diese Reduktion oft nicht aus, um die immer strengeren Vorgaben betreffend NO_x-Grenzwerte im Abgas zu erfüllen. Oft ist daher zur Senkung der NO_x-Emissionen eine Sekundärmaßnahme, wie z.B. die Abgasnachbehandlung in einer Anlage zur selektiven nicht-katalytischen Reduktion (SNCR-Anlage) oder einer Anlage zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Anlage) erforderlich, was jedoch investitions- und betriebskostenintensiv ist.

Beim SNCR-Verfahren wird als Reduktionsmittel Ammoniak (NH₃) oder Harnstoff im Temperaturbereich von typischerweise 850°C bis 1050°C, in die Nachbrennkammer der Feuerung (in der oxidierende Bedingungen herrschen), eingedüst.

Nachteilig an derartigen Verfahren ist, dass für diese eine vergrößerte Brennkammer bereitstehen muss (da das Abgas für die Reduktion der Stickoxide eine erhöhte Verweilzeit bei hoher Temperatur benötigt), dass sie aufgrund des benötigten Reduktionsmittels im Betrieb kostenintensiv sind, dass eine entsprechende Temperaturmessung und Regelung vorgesehen sein muss, um das Eindüsen des Reduktionsmittels im passenden Temperaturbereich zu gewährleisten, und dass dabei ein Ammoniakschlupf (bei der Reduktion überbleibendes NH₃) entsteht, wobei die Vorgaben hinsichtlich NH₃-Emissionen im Abgas immer strenger werden. Die erzielbare NO_x-Reduktion ist bei SNCR-Anlagen typischerweise auf 60-70% begrenzt.

In EP 2 635 365 B1 und DE 4434943 A1 sind spezielle Düsentechnologien zur Verbesserung des SNCR-Verfahrens beschrieben.

Beim SCR-Verfahren werden die auf ca. 220-450 °C abgekühlten Abgase unter Zugabe von Ammoniak oder Harnstoff durch einen Katalysator geleitet, in dem die Stickoxide (NO_x) zu molekularem Stickstoff abgebaut werden. Anders als beim SNCR-Verfahren wird beim SCR-Verfahren die Reaktion von NO_x mit dem Reduktionsmittel an der Katalysatoroberfläche beschleunigt und läuft deshalb bereits bei wesentlich geringeren Temperaturen ab. Auch ermöglicht der Katalysator eine bessere Ausnutzung des Reduktionsmittels und erlaubt damit höhere Reduktionsgrade und einen geringeren Reduktionsmittelbedarf.

In SCR-Anlagen auftretende Probleme sind meist auf Katalysatorgifte (z.B. Staub, S, K) im Abgas und somit auf eine unzureichende Gasreinigung vor der SCR-Anlage zurückzuführen. Der Einsatz einer SCR-Anlage erfordert daher eine aufwendige Entstaubung und unter Umständen auch Entschwefelung des Abgases und meist auch zusätzliche Wärmetauscher, um die SCR-Anlage im richtigen Temperaturfenster betreiben und dennoch hohe Gesamtwirkungsgrade erreichen zu können.

In EP 1 147 801 B2 ist eine Verbesserung des SCR-Verfahrens mittels eines zusätzlichen Oxidationskatalysators beschrieben.

Die US 6,267,940 beschreibt ein mit einem SCR-Verfahren kombinierbares Verfahren zur Reduktion von Stickoxiden in einem Gasstrom, bei dem ein NO-reduzierendes Katalysatorpulver in den Rauchgasstrom injiziert wird, das dann durch eine entsprechende Staubabscheideeinrichtung wieder aus dem Rauchgas abgetrennt, aktiviert und wieder eingesetzt werden kann.

Ebenfalls zur Abgasnachbehandlung eingesetzte 3-Wege-Katalysatoren werden vor allem bei Ottomotoren für Autos, Motorräder und Motorboote angewendet sowie für Stationärmotoren, in denen auch alternative Gase wie Deponiegas oder Biogas als Brennstoff zum Einsatz kommen können. Der Aufbau derartiger 3-Wege-Katalysatoren ist hinreichend bekannt.

3-Wege-Katalysatoren ermöglichen gleichzeitig drei grundsätzliche Reaktionen zur Emissionsreduktion in heißen Gasen: Die Oxidation von Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) und die Reduktion von Stickoxiden (NO). Um diese Reaktionen effizient parallel ablaufen zu lassen, muss der 3-Wege-Katalysator bei einem Verbrennungsluftverhältnis (stöchiometrischen Luftverhältnis von $\lambda \sim 1$) betrieben werden. Für einen optimalen Betrieb mit hohen Umsetzungsraten ist weiters eine Betriebstemperatur von $> 400^\circ\text{C}$ erforderlich. Ab 800°C kommt es bei den meisten Katalysatoren jedoch zu einer verstärkten Alterung, wobei Weiterentwicklungen der vergangenen Jahre auch temperaturbeständigere (bis 1.000°C) Katalysatoren hervorgebracht haben. Zur Deaktivierung bzw. Vergiftung des Katalysators können auch verschiedene Katalysatorgifte, wie Schwefel, Chlor, Phosphor oder Schwermetalle führen. Mit dem Brenngas eingebrachter Feinstaub wirkt sich ebenfalls negativ aus, da er sich an der Katalysatoroberfläche ablagert und dadurch zu einer Verringerung der Abscheideleistung führt. Bereiche der Katalysatoroberfläche sind dann für das Rauchgas nicht mehr erreichbar. Stetige Weiterentwicklungen der im Katalysator eingesetzten Washcoats und Beschichtungen, sowie der Einsatz neuer Materialien führten jedoch in den vergangenen Jahren zu einer Verbesserung, insbesondere einer verbesserten Alterungsbeständigkeit und Giftresistenz, von 3-Wege-Katalysatoren. In Kombination mit Biomassefeuerungen werden 3-Wege-Katalysatoren jedoch bislang nicht eingesetzt, da eine Regelung um Lambda 1 aufgrund der Inhomogenität von

Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen sehr aufwändig und kaum stabil umsetzbar ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Gattung zur Verfügung zu stellen, das die angesprochenen Probleme so weit wie möglich vermeidet.

Insbesondere soll ein Verfahren bereitgestellt werden, mit dessen Hilfe die Stickoxidkonzentration in einem Rauchgas, das aus einem brennbaren, aus Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen bzw. biogenen Abfällen bereitgestellten Gas oder Gasgemisch erzeugt wird, effizient gesenkt werden kann, ohne den Einsatz von teuren Reduktionsmitteln und durch eine vergleichsweise einfache Integration neuer Technologien in eine Gasbrennkammer.

Weiters liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde eine Vorrichtung und ein System bereitzustellen, mit denen das erfindungsgemäße Verfahren aus- bzw. durchführbar ist.

Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß mit einem Verfahren, das die Merkmale von Anspruch 1 aufweist, sowie einer Vorrichtung, die die Merkmale von Anspruch 16 aufweist und einem System, das die Merkmale von Anspruch 30 aufweist.

Bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass beim erfindungsgemäßen Verfahren die folgenden in Strömungsrichtung hintereinander stattfindenden Schritte durchlaufen werden. D.h., dass ein Gas oder Gasgemisch, das durch das erfindungsgemäße Verfahren zu einem Rauchgas umgewandelt wird, beim Durchströmen der für das Verfahren genutzten Gasbrennkammer in Strömungsrichtung, die folgenden Schritte durchläuft:

- Einleiten des Gases oder Gasgemisches über den Gaseinlass in die Gasbrennkammer,
- Teilverbrennen des Gases oder Gasgemisches in einer im vorderen Bereich direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator angeordneten ersten Verbrennungszone, bei einem mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf 0,80 bis 0,99 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer mittels Kühlung auf 800°C bis 1000°C geregelten Temperatur,
- Reinigen des Gases oder Gasgemisches im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator, wobei insbesondere Stickoxide, Kohlenmonoxid und eventuell im Rauchgas noch enthaltene Kohlenwasserstoffverbindungen katalytisch reduziert werden,
- Nachverbrennen (insbesondere vollständiges Verbrennen) des Gases oder Gasgemisches in einer im hinteren Bereich an den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator anschließenden zweiten Verbrennungszone, bei einem mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf > 1 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer Temperatur von $> 800^{\circ}\text{C}$
- Auslassen des aus dem Gas oder Gasgemisch erzeugten Rauchgases über den Gasauslass aus der Gasbrennkammer.

Erfindungsgemäß wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst, indem der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator in der Gasbrennkammer integriert ist und ein annähernd stöchiometrischer Betrieb des Katalysators durch eine entsprechend gestufte Luftzufuhr und eine darauf abgestimmte Regelung erreicht wird. In der ersten Verbrennungszone der Gasbrennkammer wird das brennbare, teerhaltige Gas unter Zufuhr eines Oxidationsmittels unterstöchiometrisch (d.h. mit einem Verbrennungsluftverhältnis $\lambda < 1$) teilverbrannt. Das Verbrennungsluftverhältnis in der ersten Verbrennungszone wird über die Zufuhr des Oxidationsmittels in die erste Zone geregelt.

Das brennbare Gas ist insbesondere ein Gasgemisch, sodass im Rahmen der Erfindung auch von brennbaren Gasen gesprochen werden kann. Es besteht üblicherweise aus CO, H₂, CO₂, CH₄, Wasserdampf, N₂, Teeren und anderen Kohlenwasserstoffverbindungen. Das brennbare Gas muss einen sehr niedrigen Staubgehalt aufweisen, damit der 3-Wege-Katalysator nicht verlegt wird.

In der ersten Verbrennungszone der Gasbrennkammer wird das brennbare und teerhaltige Gas unter Zufuhr eines Oxidationsmittels bzw. Oxidationsmittels unterstöchiometrisch ($\lambda < 1$) verbrannt. Wichtig ist dabei, dass der Betrieb so erfolgt, dass ein fast vollständiger Abbau der Teere und ein weitgehender Abbau der Kohlenwasserstoffverbindungen durch eine gute Durchmischung des Gases mit dem Oxidationsmittel bei hohen Temperaturen (zwischen 800°C und 1000°C) vor dem Hochtemperatur 3-Wege-Katalysator sichergestellt wird. Das Verbrennungsluftverhältnis λ wird in der ersten Verbrennungszone auf einen Wert zwischen 0,80 (insbesondere 0,85) und 0,99 geregelt.

Die Aufgabe der ersten Verbrennungszone ist es, das Verbrennungsluftverhältnis und die Gastemperatur vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator richtig einzustellen. Die Temperatur liegt zwischen 800 und 1,000°C (je nach Wahl des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators), um die im Gas enthaltenen Teere möglichst vollständig abzubauen (da diese ebenfalls stickstoffhaltige Verbindungen enthalten können), sowie darin das Gas und das Oxidationsmittel gut zu durchmischen, um vor dem Eintritt in den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator eine möglichst homogene Gaszusammensetzung zu erhalten.

Aufgrund der nahe $\lambda = 1$ erfolgenden Teilverbrennung des brennbaren Gases in der ersten Verbrennungszone würden die Gastemperaturen sehr hohe Werte erreichen (deutlich über

1000°C), wenn die Temperatur in der ersten Verbrennungszone nicht aktiv gesenkt werden würde. Um das Betriebstemperaturfenster des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators (zwischen 800°C und 1000°C) einhalten und Regeln zu können, muss diese erste Verbrennungszone eine Kühlung aufweisen.

In dem an die erste Verbrennungszone anschließenden Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator erfolgt bei hohen Temperaturen die katalytische Reduktion von stickstoffhaltigen Gaskomponenten (insbesondere Stickoxiden NO_x), aber auch in einem gewissen Maße von brennbaren Gaskomponenten wie insbesondere Kohlenmonoxid (CO) und organischen Kohlenwasserstoffen, durch den im Gas noch enthaltenen Restsauerstoff.

Der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator besteht vorzugsweise aus einem Gehäuse, einem Trägerkörper (Substrat), einer Trägerbeschichtung (Washcoat) und einer auf den Washcoat aufgetragenen aktiven katalytischen Beschichtung. Das Gehäuse des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators wird üblicherweise aus Metall oder Keramik gefertigt. Der Träger (Substrat) kann als Wabenkörper, Drahtgewirk, Gitterdraht oder als eine spiralförmig aufgewickelte Metallfolie ausgeführt werden. Der Träger (Substrat) kann auch als keramischer, offenporiger Schaum oder Block ausgeführt werden. Dabei kommen Keramiken (z.B. Mg-Al-Silikat) oder Metalle zum Einsatz. Vorzugsweise werden metallische Wabenkörper oder Drahtgewirke bzw. Gitternetze eingesetzt. Um die aktive Oberfläche des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators weiter zu erhöhen, wird vorzugsweise ein Washcoat auf das Substrat aufgebracht. Washcoats bestehen typischerweise aus Metalloxiden (z.B. Aluminiumoxid) oder keramischen Verbindungen (z.B. Mg-Al-Silikat). Beispielsweise enthalten für die Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren geeignete Hochtemperatur-3-Wege-Katalysatoren als katalytisch aktive Komponenten die Edelmetalle Platin und/oder Palladium sowie Rhodium. Die katalytisch aktiven Komponenten werden in Form

einer Beschichtung auf den Washcoat aufgebracht, der eine große spezifische Oberfläche aufweist.

Die hohe Betriebstemperatur im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator ist erforderlich, um die im Gas enthaltenen N-haltigen Kohlenwasserstoff- und Teerverbindungen zu reformieren (in niedrigkettige Kohlenwasserstoffe bzw. Permanentgase wie z.B. H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 , HCN bzw. zu elementarem N zu zerlegen). Damit kann einerseits eine Verkokung oder Rußbildung im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator vermieden werden und andererseits können NO_x -Vorläufer (wie z.B. NH_3 und HCN) bzw. Stickoxide (NO_x , wie NO oder NO_2) im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator effizient reformiert werden. Der Betrieb des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator bei einem Verbrennungsluftverhältnis unter 1 ist erforderlich, um sicherzustellen, dass im Gas noch entsprechende Mengen an CO enthalten sind, die als Reduktionmittel zur Reduktion von NO_x zu elementarem Stickstoff erforderlich sind. Neben der katalytischen NO_x -Reduktion erfolgt im Katalysator auch die Oxidation von Kohlenwasserstoffen und CO zu CO_2 , sofern noch gewisse Restkonzentrationen von Oxidationsmedien (insbesondere O_2) im Gas verfügbar sind (das ist normalerweise der Fall, da das brennbare Gas und das Oxidationsmittel nie ideal durchmischt vorliegen).

In der an den 3-Wege-Katalysator anschließenden zweiten Verbrennungszone erfolgt unter Zufuhr eines Oxidationsmittels bzw. -mittels, die überstöchiometrische Verbrennung (d.h. eine Verbrennung bei einem Verbrennungsluftverhältnis von $\lambda > 1$) des aus dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator austretenden, „gereinigten“ Gases bzw. der noch brennbaren Komponenten im Gas (insbesondere die Verbrennung von CO). Die zweite Verbrennungszone ist isoliert ausgeführt (d.h. dass die Wände der Gasbrennkammer im Bereich der 2. Verbrennungszone mit einem feuerfesten Material thermisch isoliert sind), um möglichst hohe

Temperaturen für den Ausbrand des brennbaren Gases zu erzielen. Die Temperatur in der zweiten Verbrennungszone liegt über 800°C, beispielsweise zwischen 800°C und 1100°C. Das stöchiometrische Luftverhältnis (Verbrennungsluftverhältnis λ) wird durch eine weitere Zufuhr eines Oxidationsmittels in die zweite Verbrennungszone auf > 1 , beispielsweise zwischen 1,0 und 1,3, geregelt.

Das durch die gestufte Verbrennung und katalytische Reinigung nur mehr geringe Mengen an Stickoxiden enthaltende und gesäuberte Gas bzw. Gasgemisch wird als Rauchgas aus dem Gasausslass der Gasbrennkammer ausgelassen. Das Rauchgas wird in weiterer Folge entsprechend energetisch genutzt. Das in diesem Zusammenhang erzeugte Rauchgas kann auch als Abgas angesehen bzw. bezeichnet werden.

Die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens können, sobald das Verfahren gestartet ist, kontinuierlich und parallel zueinander ablaufen, wobei das in die Gasbrennkammer eintretende Gas oder Gasgemisch die einzelnen Schritte (beim Durchströmen der Gasbrennkammer in Strömungsrichtung) hintereinander durchläuft und dadurch beim Durchströmen der Gasbrennkammer in stickoxidarmes Rauchgas umgewandelt wird.

Als Oxidationsmittel (bzw. Oxidationsmedium) wird vorzugsweise Luft, Sauerstoff, rezirkuliertes Rauchgas oder eine Mischung dieser Gase, d.h. z.B. ein Sauerstoff-Luft-Gemisch, verwendet. Vorzugsweise wird in jeder Zone der Gasbrennkammer das gleiche Oxidationsmittel zugeführt, es können aber auch unterschiedliche Oxidationsmedien bzw. ein Oxidationsmittel in unterschiedlichen Konzentrationen zugeführt werden.

Das Oxidationsmittel kann in der ersten Verbrennungszone in Strömungsrichtung gesehen nur am Beginn der ersten Verbrennungszone oder am Beginn und in wenigstens einen in

Strömungsrichtung dahinter angeordneten Bereich zugeführt werden. Ebenso kann das Oxidationsmittel in der zweiten Verbrennungszone in Strömungsrichtung gesehen nur am Beginn der zweiten Verbrennungszone oder am Beginn und in wenigstens einen in Strömungsrichtung dahinter angeordneten Bereich zugeführt werden. Eine derart „gestufte“ Zufuhr des Oxidationsmittels in der ersten Verbrennungszone oder der zweiten Verbrennungszone kann dabei helfen eine möglichst gute Durchmischung des brennbaren Gases mit dem Oxidationsmittel zu erreichen und kann auch dazu dienen innerhalb der Zonen Unterzonen auszubilden, in denen andere stöchiometrische Verhältnisse als in anderen Bereichen der Zonen vorherrschen.

Vorzugsweise erfolgt die Kühlung in der ersten Verbrennungszone durch eine Wandkühlung oder durch Zufuhr eines Kühlmediums. Besonders bevorzugt erfolgt die Kühlung durch eine Kombination dieser beiden Maßnahmen, um eine „Grundkühlung“ mittels der Wandkühlung bereitzustellen und um die „Feinjustierung“ der Temperatur über die Menge an zugeführtem Kühlmedium genau einstellen zu können.

Die Wandkühlung erfolgt zum Beispiel durch Wärmeaustausch (Wärmeleitung, Wärmestrahlung und/oder Wärmeströmung) mit dem der zweiten Verbrennungszone zuzuführenden Oxidationsmittel. Dafür strömt das Oxidationsmittel für die zweite Verbrennungszone insbesondere durch eine oder mehrere Leitung/en bzw. Kammer/n, die für einen Wärmeaustausch mit der ersten Verbrennungszone eingerichtet sind, d.h. die vorzugsweise in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer in der ersten Verbrennungszone steht/stehen oder im Bereich der Wand der Gasbrennkammer angeordnet sind. Eine Wandkühlung kann auch über einen Wärmeaustausch zwischen Wänden der Brennkammer und Wänden, die die Brennkammer umgeben, erfolgen (insbesondere über Wärmestrahlung). Die die Brennkammer umgebenden Wände können auch wassergekühlt sein.

Als Kühlmedium wird vorzugsweise rezirkuliertes gekühltes Rauchgas, d.h. Rauchgas das im erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurde, bereits energetisch genutzt wurde (wodurch es Wärme abgegeben hat) und zurückgeleitet wird, oder Dampf (der insbesondere durch das im erfindungsgemäßen Verfahren erzeugte Rauchgas erzeugt wurde) verwendet.

Bei Durchführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei denen ein Kühlmedium der ersten Zone zugeführt wird, wird das Kühlmedium in der ersten Verbrennungszone vorzugsweise in Strömungsrichtung gesehen hinter dem Oxidationsmittel zugeführt. Wenn das Oxidationsmittel in mehreren Bereichen zugeführt wird, wird das Kühlmedium vorzugsweise nach dem in Strömungsrichtung gesehen hintersten (d.h. dem am nächsten beim Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator liegenden) Bereich zugeführt.

Bevorzugt ist es, wenn das Oxidationsmittel in der ersten Verbrennungszone über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen und/oder das Oxidationsmittel in der zweiten Verbrennungszone über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen und/oder ggf. das Kühlmedium in der ersten Verbrennungszone über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen zugeführt wird. Denkbar sind auch Kombinationen von unterschiedlichen Arten der Zufuhr in die verschiedenen Zonen bzw. innerhalb einer Zone. Vorzugsweise erfolgt die Zufuhr dieser Medien mittels Einblasung über Düsen, die derart (z.B. ringförmig) angeordnet und ausgerichtet sind, dass eine möglichst gute Durchmischung des brennbaren Gases mit diesen Medien sichergestellt wird (z.B. durch Ausbildung einer Rotationsströmung).

Im Rahmen der Erfindung kann das Oxidationsmittel in die zweite Verbrennungszone bei Umgebungstemperatur oder vorgewärmt zugeführt werden. Möglich ist auch, dass das Oxidationsmittel abwechselnd bei Umgebungstemperatur oder vorgewärmt zugeführt

wird, um die Temperatur in der zweiten Verbrennungszone zu regeln, damit sie jedenfalls $> 800^{\circ}\text{C}$ ist oder innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs liegt.

Das Vorwärmen des Oxidationsmittels für die zweite Verbrennungsstufe, auf eine Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur, erfolgt vorzugsweise durch einen stromabwärts der Gasbrennkammer angeordneten Abgaswärmetauscher, durch Wärmeaustausch mit den Wänden der ersten Verbrennungszone und/oder durch eine externe Vorwärmvorrichtung, z.B. elektrisch.

Insbesondere kann eine Kühlung der ersten Verbrennungszone und ein Vorwärmen des Oxidationsmittels für die zweite Verbrennungszone erfolgen, indem das Oxidationsmittel für die zweite Verbrennungszone durch wenigstens eine Leitung oder Kammer (einer Wandkühlung), die vorzugsweise mit der Wand der Gasbrennkammer in der ersten Verbrennungszone in Kontakt steht, geleitet wird und dabei in der ersten Verbrennungszone vorhandene Wärme aufnimmt.

Wie die Wände der Gasbrennkammer im hinteren Bereich können auch die Wände der Gasbrennkammer im vorderen Bereich (zumindest teilweise) thermisch isoliert sein, insbesondere mit einem feuerfesten Material. Auch der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator kann thermisch isoliert ausgeführt sein, um die Temperatur darin möglichst konstant zu halten. Als isolierendes insbesondere feuerfestes Material kann bei den Bereichen bzw. dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator beispielsweise Keramik- oder Steinwolle eingesetzt werden.

Vorzugsweise wird die Kühlung und somit die Temperatur in der ersten Verbrennungszone mittels einer Steuerung geregelt. Die Steuerung bezieht dafür Informationen (hinsichtlich der Temperatur in der ersten Verbrennungszone) von wenigstens einem in oder an der ersten Verbrennungszone, insbesondere direkt vor

dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator, angeordneten und/oder wenigstens einem in oder an dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator angeordneten Temperatursensor. Der/die Temperatursensoren kann/können ein kalibriertes Thermoelement bzw. kalibrierte Thermoelemente sein, aber auch andere denkbare Sensoren, mit denen die Temperatur in der ersten Verbrennungszone (direkt oder auch indirekt) gemessen werden kann. Beispielsweise wird die in die erste Verbrennungszone zugeführte Menge an rezirkuliertem Abgas und/oder Dampf in Abhängigkeit von der Gastemperatur in der ersten Verbrennungszone geregelt.

Ebenso ist es bevorzugt, wenn die Zufuhr des Oxidationsmittels und somit das Verbrennungsluftverhältnis in der ersten Verbrennungszone mittels einer Steuerung geregelt wird. Die Steuerung bezieht dafür Informationen von wenigstens einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone messenden ersten Sauerstoffmesseinrichtung. Diese Sauerstoffmesseinrichtung kann eine (insbesondere gekühlte) Lambdasonde, Lasermesseinrichtung, und/oder extraktiven Rauchgasmesseinrichtung sein. Die Menge des zugeführten Oxidationsmittels und damit das stöchiometrische Luftverhältnis in der ersten Verbrennungszone wird dann in Abhängigkeit vom Luftverhältnis im brennbaren Gas in der ersten Verbrennungszone geregelt. Zusätzlich oder stattdessen können auch Informationen über einen Stickoxidgehalt des aus dem Gasauslass austretenden Rauchgases messende Rauchgasmesseinrichtung an die Steuerung geleitet werden, da sich das Verbrennungsluftverhältnis in der ersten Verbrennungszone über die gemessene Konzentration von Stickoxiden (NO_x) im Rauchgas bzw. Abgas regeln lässt. In diesem Fall ist es möglich die Konzentration an Stickoxiden (NO_x) im Rauchgas regelungstechnisch online zu überwachen und zu minimieren (über eine Minimierungsfunktion, die die Stickoxid-Konzentration im Rauchgas in ein Verhältnis zum

Verbrennungsluftverhältnis vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator setzt).

Auch das Verbrennungsluftverhältnis in der zweiten Verbrennungszone (bzw. auch in anderen Zonen der Gasbrennkammer) kann mittels der Steuerung (oder einer anderen Steuerung) geregelt werden, wofür der Sauerstoffgehalt in dieser Zone (bzw. diesen Zonen) über eine zweite Sauerstoffmesseinrichtung, z.B. eine Lambdasonde, Lasermesseinrichtung, und/oder extraktiven Rauchgasmesseinrichtung, ermittelt werden kann, oder über eine Rauchgasmesseinrichtung, die den Sauerstoffgehalt des aus dem Gasauslass austretenden Rauchgases misst.

Insbesondere kann die Regelung der Temperatur und die Regelung des Verbrennungsluftverhältnisses in der ersten Verbrennungszone (bzw. in mehreren oder allen Zonen) von ein und derselben Steuerung vorgenommen werden.

Im Rahmen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass in einer im vorderen Bereich und in Strömungsrichtung vor der ersten Verbrennungszone angeordneten Vorreformationszone ein Vorverbrennen des brennbaren Gases oder Gasgemisches, das durch den Gaseinlass in die Gasbrennkammer geleitet wird, stattfindet. Das Verbrennungsluftverhältnis ist in dieser Vorreformationszone mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf $< 0,60$, vorzugsweise $< 0,50$, geregelt. In der Vorreformationszone erfolgt eine Vorreformation bzw. Vorkonversion des Gases hinsichtlich eines Teerabbaus und einer primären Entstickung (d.h. ein Vorabbau von HCN und NH_3).

Die Vorreformationszone kann im Rahmen der Erfindung auch als eine am Beginn der ersten Verbrennungszone angeordnete Unterzone der ersten Verbrennungszone angesehen werden, wenn die erste Verbrennungszone zu Beginn (d.h. in der Vorreformationszone) und in wenigstens einen in Strömungsrichtung nachfolgenden Bereich

(d.h. außerhalb der Vorreformationszone) eine Zufuhr für ein Oxidationsmittel aufweist.

Das in den Gaseinlass eingeleitete Gas oder Gasgemisch stammt vorzugsweise aus einer, insbesondere direkt mit dem Gaseinlass verbundenen bzw. gekoppelten, Anlage zur Erzeugung von brennbaren Gasen mit einem Staubgehalt von $< 100 \text{ mg/Nm}^3$, insbesondere $< 20 \text{ mg/Nm}^3$. Diese Anlage zur Erzeugung von staubarmen, brennbaren Gasen kann z.B. ein Gegenstromvergasungsreaktor, ein Festbettreaktor oder ein Gegenstrompyrolysereaktor sein. Aus diesen Konversionsreaktoren austretende brennbare Gase weisen eine sehr geringe Geschwindigkeit auf und tragen daher kaum Staubpartikel aus. Weiters wirkt auch das Brennstoffbett selbst als Filter, sodass derartige Anlagen besonders staubarme Gase bereitstellen.

In einer möglichen Durchführungsform des Verfahrens findet in einem im hinteren Bereich und in Strömungsrichtung nach der zweiten Verbrennungszone oder anschließend an den Gasauslass angeordneten Oxidationskatalysator ein weiteres Reinigen des Gases statt. Dabei werden insbesondere Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe katalytisch reduziert. Ein derartiger Oxidationskatalysator reduziert die Baulänge der zweiten Verbrennungszone und verbessert den Ausbrand des zu Rauchgas ausgebrannten Gases hinsichtlich einer Reduktion von Kohlenmonoxid, Teeren und Ruß insbesondere bei Teillastbetrieb der Vorrichtung (bzw. der mit der Vorrichtung verbundenen Anlage zur Bereitstellung des Gases). Der verwendete Oxidationskatalysator kann von herkömmlicher Bauart sein, wobei geeignete Oxidationskatalysatoren für die Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere solche sind, die als katalytisch aktive Komponenten die Edelmetalle Platin und/oder Palladium enthalten. Der Oxidationskatalysator kann thermisch isoliert (mit z.B. Keramik- oder Steinwolle) ausgeführt werden,

um die Temperaturen im Oxidationskatalysator möglichst konstant zu halten.

Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, dass der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator vor, nach oder während dem Verfahren manuell oder automatisch abgereinigt wird. Dafür ist insbesondere eine an oder in der Gasbrennkammer angeordnete Abreinigungseinrichtung vorgesehen. Zum Beispiel wird der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator mit einer oder mehreren in die Gasbrennkammer eingebrachten Düsenlanzen, deren Spitze jeweils mit einer Düsenreihe versehen ist, periodisch abgereinigt, um einen störungsfreien und kontinuierlichen Betrieb sicher zu stellen. Zum Abreinigen blasen eine oder mehrere Düsen den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator z.B. mittels Druckluft oder Dampf in regelmäßigen Abständen ab und befreien dadurch den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator von möglichen Ablagerungen.

Vorteile zu bestimmten Merkmalen des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. zum erfindungsgemäßen Verfahren beschriebene konstruktive (bzw. funktionelle) Merkmale, lassen sich in analoger Weise auch auf die erfindungsgemäße Vorrichtung umlegen und vice versa. In Folge wird auf bereits beschriebene Merkmale nicht oder nur in sehr gekürzter Form eingegangen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens (bzw. einer beliebigen, im Rahmen dieser Erfindung beschriebenen, Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens) geeignet und das erfindungsgemäße Verfahren wird insbesondere mit oder in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung (bzw. einer beliebigen im Rahmen dieser Erfindung beschriebenen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung) aus- bzw. durchgeführt.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass die Gasbrennkammer durch einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator, insbesondere zur katalytischen Reduktion von Stickoxiden und Kohlenmonoxid, in einen in Strömungsrichtung gesehenen vorderen Bereich und einen in Strömungsrichtung gesehenen hinteren Bereich mit thermisch isolierten Wänden aufgeteilt wird, dass im vorderen Bereich, direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator, eine erste Verbrennungszone ausgebildet ist, die wenigstens eine Kühleinrichtung und eine erste Oxidationsmittelzuführung aufweist, und dass im hinteren Bereich an den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator anschließend ein zweite Verbrennungszone ausgebildet ist, die eine zweite Oxidationsmittelzuführung aufweist.

Die Gasbrennkammer kann vertikal, horizontal oder auch schräg ausgeführt sein. Sie hat vorzugsweise einen runden Querschnitt, sie kann aber auch eine andere Querschnittsform haben (z.B. oval oder eckig). Sie kann weiters, in einer Achse durchgehend gebaut sein oder sich auch über zwei oder drei Achsen erstrecken (mit wenigstens einer Umlenkung - z.B. nach dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator).

Im Rahmen der Erfindung kann die erste Oxidationsmittelzuführung in Strömungsrichtung gesehen am Beginn der ersten Verbrennungszone oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung dahinter angeordneten Bereich der ersten Verbrennungszone wenigstens einen in die Gasbrennkammer mündenden Oxidationsmitteleinlass aufweisen. Ebenso kann die zweite Oxidationsmittelzuführung in Strömungsrichtung gesehen am Beginn der zweiten Verbrennungszone oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung dahinter angeordneten Bereich der zweiten Verbrennungszone wenigstens einen in die Gasbrennkammer mündenden Oxidationsmitteleinlass aufweisen. Der Oxidationsmitteleinlass bzw. jeder der Oxidationsmitteleinlässe der ersten Verbrennungszone und/oder der zweiten

Verbrennungszone kann/können wie bereits zur Zufuhr des Oxidationsmittels beim Verfahren beschrieben eine Düse oder ein Düsenring oder eine Düsenlanze sein.

Vorzugsweise weist die erste Verbrennungszone als Kühleinrichtung eine Wandkühlung und/oder eine Kühlmediumszuführung auf. Die Wandkühlung kann zum Beispiel eine Leitung oder Kammer aufweisen, die insbesondere in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer in der ersten Verbrennungszone steht und die Teil der zweiten Oxidationsmittelzuführung ist. Ebenso kann ein Wärmetauscher vorgesehen sein, bei dem Wärme zwischen der Wand der Gasbrennkammer in der ersten Verbrennungszone und der mit dem Oxidationsmittel durchströmten Leitung oder Kammer (oder einer anderen Zufuhr eines kühleren Mediums) ausgetauscht wird. Die Wandkühlung kann auch derart eingerichtet sein, dass zwischen den Wänden der Brennkammer und den die Brennkammer umgebenden Wänden eine Wärmeübertragung (d.h. ein Wärmeaustausch) erfolgt (z.B. mittels Wärmestrahlung und/oder einer Kombination aus Wärmestrahlung und Konvektion). Diese die Brennkammer umgebenden Wände können (auch) wassergekühlt sein. Falls zusätzlich oder stattdessen eine Kühlmediumszuführung vorhanden ist, ist diese insbesondere mit einer nach dem Gasauslass angeordneten Entnahmeeinrichtung von rezirkuliertem gekühltem Rauchgas oder Dampf verbunden. Auch der Kühlmediumseinlass oder ggf. die Kühlmediumseinlässe kann/können wie bereits zur Zufuhr des Kühlmediums beim Verfahren beschrieben eine Düse oder ein Düsenring oder eine Düsenlanze sein.

Im Rahmen der Erfindung sind Ausführungsformen denkbar, bei denen die Oxidationsmittelzuführung der zweiten Verbrennungszone mit einem stromabwärts der Gasbrennkammer angeordneten Abgaswärmetauscher und/oder mit einer externen, z.B. elektrischen, Vorwärmvorrichtung verbunden ist. Zusätzlich dazu oder stattdessen kann die zweite Oxidationsmittelzuführung

wenigstens eine Leitung oder Kammer aufweisen, die vorzugsweise in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer in der ersten Verbrennungszone steht (d.h. die ein Bestandteil einer Wandkühlung der ersten Verbrennungszone ist). Das Oxidationsmittel für die zweite Verbrennungszone kann dadurch (bei Bedarf) vorgewärmt zugeführt werden, z.B. um die Temperatur in der zweiten Verbrennungszone zu erhöhen oder auf einem ausreichend hohen Niveau zu halten.

Die Wände der Gasbrennkammer können im vorderen Bereich zumindest teilweise thermisch isoliert sein, insbesondere mit einem feuerfesten Material wie Steinwolle, Keramikwolle, Schamott, etc. Auch der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator kann derart oder mit anderen Materialien thermisch isoliert sein.

Vorzugsweise weist die Vorrichtung eine Steuerung zum Regeln der Kühleinrichtung/en und somit der Temperatur in der ersten Verbrennungszone und/oder zum Regeln des Mediumsstroms durch die erste Oxidationsmittelzuführung und somit des Verbrennungsluftverhältnisses in der ersten Verbrennungszone auf. Für diese Regelungen können auch separate Steuerungen vorgesehen sein.

Für die Temperaturregelung kann die Steuerung mit wenigstens einem in oder an der ersten Verbrennungszone, insbesondere direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator, angeordneten und/oder wenigstens einem in oder an dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator angeordneten Temperatursensor verbunden sein. Der bzw. die Temperatursensor/en kann/können z.B. ein Thermoelement bzw. Thermoelemente sein.

Für die Regelung des Verbrennungsluftverhältnisses kann die Steuerung mit wenigstens einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone messenden Sauerstoffmesseinrichtung, insbesondere einer Lambdasonde, einer Lasermessvorrichtung, oder

einer extraktiven Rauchgasmesseinrichtung verbunden sein, und/oder mit einer den Stickoxidgehalt des aus dem Gasauslass austretenden Rauchgases messenden Rauchgasmesseinrichtung.

Im Rahmen der Erfindung kann die Gasbrennkammer im vorderen Bereich eine in Strömungsrichtung vor der ersten Verbrennungszone angeordnete Vorreformationszone mit einer weiteren Oxidationsmittelzuführung aufweisen. Die Vorrichtung kann eine Steuerung zum Regeln des Verbrennungsluftverhältnisses in der Vorreformationszone aufweisen. Das Regeln des Verbrennungsluftverhältnisses in der Vorreformationszone kann auch (falls vorhanden) von der Steuerung zum Regeln des Verbrennungsluftverhältnisses in der ersten Verbrennungszone übernommen werden.

Möglich ist im Rahmen der Erfindung, dass die Gasbrennkammer im hinteren Bereich einen in Strömungsrichtung nach der zweiten Verbrennungszone angeordneten Oxidationskatalysator, insbesondere zur katalytischen Reduktion von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, aufweist. Der Oxidationskatalysator kann auch außerhalb der Gasbrennkammer angeordnet und an den Gasauslass der Gasbrennkammer angeschlossen sein. Der Oxidationskatalysator kann ein herkömmlicher Oxidationskatalysator mit den bereits beschriebenen Merkmalen sein.

Vorzugsweise weist die Vorrichtung eine Abreinigungseinrichtung zur Abreinigung des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators auf. Diese Abreinigungseinrichtung kann aus wenigstens einer Düse oder Düsenlanze bestehen oder zumindest eine Düse oder Düsenlanze aufweisen. Durch Eindüsen von Druckluft oder Dampf über die Abreinigungseinrichtung in den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators bzw. auf dessen Oberfläche kann die Oberfläche bzw. können die Kanäle des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators, vorzugsweise periodisch, von Staub befreit werden. Sowohl die

Effektivität als auch die Lebenserwartung des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators wird dadurch erhöht. Die Abreinigungseinrichtung kann auch über die Messung des Differenzdruckes über den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator geregelt werden, indem sie bei einem bestimmten als kritisch definierten Differenzdruck ausgelöst wird. Dafür kann ein Differenzdrucksensor, der die Druckdifferenz über den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator misst, vorgesehen (und im, am oder im Bereich des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator/s angeordnet) sein.

Erfindungsgemäß ist auch ein System (bzw. eine Installation oder eine Betriebsanlage) zur Erzeugung eines Rauchgases aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen vorgesehen. Das System weist eine Anlage zur Erzeugung eines brennbaren Gases oder Gasgemisches aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen auf, die vorzugsweise ein Gegenstromvergasungsreaktor, ein Festbettreaktor oder ein Gegenstrompyrolysereaktor ist. Diese Anlage ist dazu eingerichtet brennbares Gas mit einem Staubgehalt von $< 100 \text{ mg/Nm}^3$, insbesondere $< 20 \text{ mg/Nm}^3$, bereitzustellen. Dieses brennbare und staubarme Gas wird in eine mit der Anlage verbundene erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung eines Rauchgases eingeleitet. Da das mit der Anlage erzeugte Gas sehr staubarm ist, arbeitet der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator in der Vorrichtung besonders effektiv, sodass ein besonders gut gereinigtes (insbesondere entsticktes) Rauchgas erzeugt werden kann.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die angeschlossenen Zeichnungen, in welchen bevorzugte Ausführungsformen dargestellt sind. Es zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Längsschnitt,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Längsschnitt
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Längsschnitt,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Längsschnitt, und
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Längsschnitt.

Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in einer stark vereinfachten Schnittansicht entlang einer Längserstreckung der Vorrichtung 1.

Die Vorrichtung 1 weist eine längsgestreckte Gasbrennkammer 2 auf. Die Gasbrennkammer 2 hat an einem Ende einen Gaseinlass 3, zum Einleiten von brennbarem Gas in das Innere der Gasbrennkammer 2, und am anderen Ende einen Gasauslass 4, zum Auslassen von Gas, das die Gasbrennkammer 2 in Strömungsrichtung S durchquert hat.

Die Gasbrennkammer 2 wird durch einen in der Gasbrennkammer 2 integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 in zwei Bereiche 6, 7 geteilt. Der in Strömungsrichtung S gesehen vordere Bereich 6 ist zwischen dem Gaseinlass 3 und dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 angeordnet und der in Strömungsrichtung S gesehen hintere Bereich 7 ist zwischen dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 und dem Gasauslass 4 angeordnet.

Der hintere Bereich 7 weist thermisch isolierte Wände 8 auf, wobei die thermische Isolierung beispielsweise durch innen an den Wänden 8 angebrachtes, feuerfestes Material, wie Steinwolle oder Schamott, gebildet ist.

In der dargestellten Ausführungsform ist auch der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 thermisch isoliert, was schematisch durch eine Katalysatorisolierung 9 dargestellt ist.

Im vorderen Bereich 6 ist eine erste Verbrennungszone 11 gebildet.

Die erste Verbrennungszone 11 weist gleich an ihrem Beginn (d.h. in ihrem in Strömungsrichtung S gesehen vordersten Bereich) eine erste Oxidationsmittelzuführung 12, zur Zufuhr eines Oxidationsmittels in die erste Verbrennungszone 11, auf.

Die erste Oxidationsmittelzuführung 12 weist mehrere Oxidationsmitteleinlässe 13 auf, die in das Innere der Gasbrennkammer 2 münden, und beispielsweise als umfangsseitig in einem Ring angeordnete Düsen ausgeführt sind.

Die erste Verbrennungszone 11 weist eine Kühleinrichtung in Form einer Kühlmediumszuführung 14, zur Zufuhr eines Kühlmediums in die erste Verbrennungszone 12, auf, die der Kühlung der ersten Verbrennungszone 11 (bzw. des darin befindlichen Gases oder Gasgemisches) dient.

Die Kühlmediumszuführung 14 weist mehre Kühlmediumseinlässe 15 auf, die in Strömungsrichtung S gesehen hinter den Oxidationsmitteleinlässen 13 der ersten Oxidationsmittelzuführung 12 angeordnet sind, sodass die Zufuhr des Kühlmediums in Strömungsrichtung S gesehen hinter der Zufuhr des Oxidationsmittels erfolgt.

Im hinteren Bereich 7 ist eine zweite Verbrennungszone 16 gebildet. Die zweite Verbrennungszone 16 weist eine zweite Oxidationsmittelzuführung 17 auf, die ebenfalls mehrere Oxidationsmitteleinlässe 13 für die Zufuhr eines Oxidationsmittels in die zweite Verbrennungszone 16 aufweist.

Die Fig. 2 bis 5 zeigen weitere Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, wobei in Folge im Detail auf die Unterschiede zwischen diesen Ausführungsformen und der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform eingegangen wird. Es versteht sich, dass die Merkmale der unterschiedlichen Ausführungsformen im Rahmen der Erfindung im Wesentlichen beliebig miteinander kombiniert werden können, um weitere nicht dargestellte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zu erhalten.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 gemäß der in Fig. 2 dargestellten zweiten Ausführungsform weist eine Abreinigungseinrichtung 18 zum Abreinigen des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators 5 auf. Die Abreinigungseinrichtung 18 weist die Form einer Düsenlanze auf, über die Druckluft oder Dampf auf bzw. in den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 gedüst (geblasen) wird, um diesen von darauf abgelagertem Staub zu befreien. Die Abreinigungseinrichtung 18 in Form der Düsenlanze kann automatisch (z.B. in vorbestimmten Zeitabständen) oder manuell aktivierbar sein.

Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, bei der die erste Oxidationsmittelzuführung 12 in Strömungsrichtung S gesehen am Beginn der ersten Verbrennungszone 11 und in wenigstens einem in Strömungsrichtung S dahinter angeordneten Bereich der ersten Verbrennungszone 11 die in die Gasbrennkammer 2 mündenden Oxidationsmitteleinlässe 13 aufweist. Dadurch kann eine Zufuhr des Oxidationsmittels an

mehreren in Strömungsrichtung S gesehen hintereinander angeordneten Bereichen bzw. an mehreren Stellen der ersten Verbrennungszone 11 erfolgen. Die Oxidationsmitteleinlässe 13 der ersten Oxidationsmittelzuführung 12 können aus der gleichen oder aus unterschiedlichen Quellen mit Oxidationsmittel gespeist sein, und alle das selbe Oxidationsmittel oder unterschiedliche Oxidationsmedien (bzw. das gleiche Oxidationsmittel in unterschiedlicher Konzentration) zuführen.

Die Zufuhr des Kühlmediums erfolgt in der ersten Verbrennungszone 11 hinter der Zufuhr des Oxidationsmittels, da die Kühlmediumseinlässe 15 in Strömungsrichtung S gesehen hinter den hintersten Oxidationsmitteleinlässen 13 angeordnet sind.

Die in Fig. 4 gezeigte vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 weist mehrere Unterschiede zu der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform auf.

Zum ersten ist im vorderen Bereich 6 der Gasbrennkammer 2, in Strömungsrichtung S gesehen vor der ersten Verbrennungszone 11, eine Vorreformationszone 19 angeordnet. Diese Vorreformationszone 19 weist eine weitere Oxidationsmittelzuführung 21 auf, die der Zufuhr eines Oxidationsmittels in die Vorreformationszone 19 dient.

Weiters weist die erste Verbrennungszone 11 neben der als Kühleinrichtung dienenden Kühlmediumszuführung 14 als weitere Kühleinrichtung noch eine Wandkühlung 22 auf. Die Wandkühlung 22 dient ebenfalls der Kühlung der ersten Verbrennungszone 11 (bzw. des darin befindlichen Gases oder Gasgemisches).

Zusätzlich dazu weist die Gasbrennkammer 2 der in Fig. 4 dargestellten erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 im hinteren Bereich 7 ein in Strömungsrichtung S nach der zweiten Verbrennungszone 16 angeordneten Oxidationskatalysator 23 auf.

Die in Fig. 5 dargestellte, fünfte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 weist, wie die in Fig. 4 dargestellte Ausführungsform, in der ersten Verbrennungszone 11 eine Wandkühlung 22 auf.

Die Wandkühlung 22 weist wenigstens eine Leitung oder Kammer 24 auf, die in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer 2 in der ersten Verbrennungszone 11 steht (und somit einen Wärmeübergang bzw. Wärmeaustausch bedingt) und Teil der zweiten Oxidationsmittelzuführung 17 ist. Das über die zweite Oxidationsmittelzuführung 17 der zweiten Verbrennungszone 16 zugeführte Oxidationsmittel wird vor Einlass in die zweite Verbrennungszone 16 durch die Wandkühlung 22 der ersten Verbrennungszone 11 geleitet und nimmt dabei Wärme aus der ersten Verbrennungszone 11 (bzw. des darin befindlichen Gases oder Gasgemisches) auf.

Eine Entnahmeeinrichtung 25, die von einer in Strömungsrichtung S nach dem Gasauslass 4 angeordneten weiterführenden Leitung 26 gekühltes Rauchgas entnimmt, speist in der dargestellten Ausführungsform die Kühlmediumszuführung 14 der ersten Verbrennungszone 11. Das der ersten Verbrennungszone 11 zuführbare Kühlmedium ist somit ein Teil des Rauchgases nach seiner energetischen Verwertung bzw. ein durch die energetische Verwertung des Rauchgases erzeugter Dampf.

Weiters ist in Fig. 5 schematisch eine Steuerung 27 (bzw. eine Steuereinheit, eine Steuereinrichtung, ein Steuercomputer, etc.) der Vorrichtung 1 dargestellt, die mit unterschiedlichen Komponenten der Vorrichtung 1 verbunden ist und diese ansteuert bzw. regelt.

Die Steuerung 27 bezieht dafür Informationen von mehreren in oder an der Gasbrennkammer 2 und/oder in, an oder nach dem Gasauslass 4 angeordneten Sensoren bzw. Messeinrichtungen.

In der dargestellten Ausführungsform ist in oder an der ersten Verbrennungszone 11 eine erste Sauerstoffmesseinrichtung Q1 angeordnet, die den Sauerstoffgehalt in der ersten Verbrennungszone 11 misst und diese Informationen an die damit verbundene Steuerung 27 weitergibt. Diese erste Sauerstoffmesseinrichtung Q1 kann beispielsweise eine (insbesondere gekühlte) Lambdasonde, eine Lasermesseinrichtung oder eine extraktive Rauchgasmesseinrichtung sein.

Aufgrund der Informationen über den Sauerstoffgehalt in der ersten Verbrennungszone 11, steuert die Steuerung 27 die Zufuhr des Oxidationsmittels in die erste Verbrennungszone 11. In der dargestellten Ausführungsform wird dafür der Mediumsstrom des Oxidationsmittels durch die erste Oxidationsmittelzuführung 12 über eine mit der Steuerung 27 verbundene erste Oxidationsmittelquelle 28 geregelt. Die Steuerung 27 regelt dadurch das Verbrennungsluftverhältnis λ in der ersten Verbrennungszone 11 auf einen Wert zwischen 0,8 und 0,99.

Der Sauerstoffgehalt in der zweiten Verbrennungszone 16 wird in der dargestellten Ausführungsform in analoger Weise über eine in oder nach der zweiten Verbrennungszone 16 (hier in oder an dem Gasauslass 4) angeordnete Sauerstoffmesseinrichtung Q2 gemessen. Aufgrund dieser Informationen regelt die Steuerung 27 die Zufuhr des Oxidationsmittels in die zweite Verbrennungszone 16, beispielsweise indem die Steuerung 27 über eine zweite Oxidationsmittelquelle 29 den Mediumsstrom des Oxidationsmittels durch die zweite Oxidationsmittelzuführung 17 steuert. Das Verbrennungsluftverhältnis λ in der zweiten Verbrennungszone 11 kann dadurch konstant auf einen Wert > 1 geregelt werden.

Die Steuerung 27 kann auch mit einer in oder an dem Gasauslass 4 angeordneten Rauchgasmesseinrichtung N (insbesondere einer Stickoxidmesseeinrichtung) verbunden sein und über diese

Rauchgasmesseeinrichtung N Informationen über die verbleibende Konzentration an Stickoxiden im Rauchgas beziehen. Auch aufgrund dieser Informationen kann die Steuerung 27 die Regelung des Verbrennungsluftverhältnisses λ in der ersten Verbrennungszone 11 vornehmen.

Mit Hilfe eines in oder an der ersten Verbrennungszone 11 angeordneten erster Temperatursensors T1 und/oder eines in oder an dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 angeordneten zweiten Temperatursensors T2 kann die Temperatur in der ersten Verbrennungszone 11 bzw. im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 gemessen und an die Steuerung 27 weitergegeben werden. Die Steuerung 27 steuert auf Basis dieser Informationen die Kühleinrichtung/en, um die Temperatur in der ersten Verbrennungszone 11 (insbesondere beim Eintritt in den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5) auf einen Wert zwischen 800°C und 1000°C zu regeln.

Beispielsweise steuert die Steuerung 27 den Mediumsstrom durch die Kühleinrichtung in Form einer Kühlmediumszuführung 14, d.h. die Menge des in die erste Verbrennungszone 11 eingeleiteten Kühlmediums. In der dargestellten Ausführungsform wird der Mediumsstrom der Kühlmediumszuführung 14 gesteuert, indem die Menge des von der Entnahmeeinrichtung 25 entnommenen Kühlmediums geregelt wird.

Falls - wie in Fig. 5 dargestellt - eine Abreinigungseinrichtung 18 für das Abreinigen (Ausblasen) des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators 5 vorhanden ist, kann diese auch über die Steuerung 27 (z.B. periodisch) aktiviert werden. Die Aktivierung der Abreinigungseinrichtung 18 kann auch in Abhängigkeit eines gemessenen Differenzdruckes über den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 geregelt werden. Beispielsweise wird die Abreinigungseinrichtung 18 bei einem bestimmten als kritisch definierten Differenzdruck auslöst. Dafür kann ein

Differenzdrucksensor D, der die Druckdifferenz über den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (d.h. die Differenz zwischen dem direkt nach und dem direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator gemessenem Druck) misst, am Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator/s 5 angeordnet sein.

Bei der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform sind aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit die Zuführungen 12, 14, 17 nur von einer Seite in die Gasbrennkammer 2 mündend und die Wandkühlung 22 nur an einer Seite der Gasbrennkammer 2 ausgebildet dargestellt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann weitere Sensoren oder Messeinrichtungen aufweisen, die mit der Steuerung 27 verbunden sind und Informationen an diese liefern, z.B. einen weiteren Temperatursensor in der zweiten Verbrennungszone 16 oder, falls die Vorrichtung eine Vorreformationszone 19 aufweist, eine weitere Sauerstoffmesseinrichtung für diese Vorreformationszone 19. Die Steuerung 27 kann demnach auch andere Einrichtungen ansteuern, z.B. um eine Zufuhr des Oxidationsmittels an eine Vorreformationszone 19 zu regeln.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann wie folgt durchgeführt werden:

Über den Gaseinlass 3 wird ein brennbares, staubarmes Gas in die Gasbrennkammer 2 eingeleitet. Zum „Anstarten“ des Verfahrens muss das Gas nach dem Einströmen in die Gasbrennkammer 2 mittels einer nicht dargestellten Zündeinrichtung initialgezündet werden. Von diesem Zeitpunkt an, wird das während dem Verfahren kontinuierlich über den Gaseinlass 3 nachströmende brennbare Gas durch das bereits in der Gasbrennkammer 2 brennende Gas entzündet.

Das Gas durchströmt die Gasbrennkammer 2 in Längsrichtung, d.h. die Strömungsrichtung S verläuft von einem Ende zum anderen Ende der langgestreckten Gasbrennkammer 2.

Nach dem Eintritt in die Gasbrennkammer 2 befindet sich das Gas im vorderen Bereich 6 in dem eine erste Verbrennungszone 11 ausgebildet ist. In der ersten Verbrennungszone 11 wird das Gas teilverbrannt. Das Verbrennungsluftverhältnis λ in der ersten Verbrennungszone 11 ist auf einen Wert zwischen 0,8 und 0,99 geregelt, indem ein Oxidationsmittel eingeleitet wird, das sich mit dem brennbaren Gas vermischt. Die Regelung wird vorzugsweise von einer Steuerung 27 ausgeführt, die mit einer den Sauerstoffgehalt in der ersten Verbrennungszone 11 erfassenden ersten Sauerstoffmesseinrichtung Q1 verbunden ist. Die Steuerung 27 kann auch mit einer am oder hinter dem Gasauslass 4 angeordneten Rauchgasmesseinrichtung N (insbesondere einer Stickoxidmesseeinrichtung) verbunden sein, über diese Rauchgasmesseeinrichtung N Informationen über die verbleibende Konzentration an Stickoxiden im Rauchgas beziehen und aufgrund dieser Informationen die Zufuhr bzw. Einleitung des Oxidationsmittels in die erste Verbrennungszone 11 regeln. Die Temperatur des brennenden Gases (bzw. Gasgemisches) wird durch eine kontinuierlich der ersten Verbrennungszone 11 Wärme entziehende Wandkühlung 22 und durch eine mittels der Steuerung 27 geregelte Zufuhr eines Kühlmediums in die erste Verbrennungszone 11 auf einen Wert zwischen 800°C und 1000°C gekühlt. Die Zufuhr des Kühlmediums erfolgt hinter der Zufuhr des Oxidationsmittels. In der ersten Verbrennungszone 11 werden durch das unterstöchiometrische Verbrennen Teere und Kohlenwasserstoffverbindungen im brennbaren Gas abgebaut.

Nach der ersten Verbrennungszone 11 durchströmt das vorverbrannte Gas den direkt an die erste Verbrennungszone 11 anschließenden Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5, in dem es gereinigt wird. Insbesondere Stickoxide (NO_x), aber auch

Kohlenmonoxid (CO) und andere Kohlenwasserstoffverbindungen werden im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 katalytisch reduziert.

Nach dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 durchströmt das teilverbrannte und gereinigte Gas die direkt an den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 anschließende zweite Verbrennungszone 16, die sich im hinteren Bereich 7 der Gasbrennkammer 2 befindet. In der zweiten Verbrennungszone 16 wird das Gas noch einmal mit einem Oxidationsmittel vermischt und nachverbrannt. Damit werden die noch brennbaren Komponenten des Gases (insbesondere Kohlenmonoxid) verbrannt. Die Zufuhr des Oxidationsmittels in die zweite Verbrennungszone 16 ist vorzugsweise durch die Steuerung 27 gesteuert, die das Verbrennungsluftverhältnis λ in der zweiten Verbrennungszone 16 auf einen Wert über 1 regelt (insbesondere > 1 und $< 1,3$). Die Temperatur in der zweiten Verbrennungszone 16 beträgt $> 800^{\circ}\text{C}$. Dies wird durch die Isolation der Wände der zweiten Verbrennungszone 16 sichergestellt. Die Temperatur in der zweiten Verbrennungszone 16 kann auch aktiv angehoben werden, um eine vollständige Verbrennung in kurzer Zeit sicherzustellen. Dies erfolgt beispielsweise indem das in die zweite Verbrennungszone 16 zugeführte Oxidationsmittel vorgewärmt wird, z. B. indem es durch die Wandkühlung 22 der ersten Verbrennungszone 11 geleitet wird und dort Wärme aus der ersten Verbrennungszone 11 aufnimmt.

Das vorverbrannte, gereinigte und anschließend nachverbrannte („ausgebrannte“) Gas verlässt aus dem Gasauslass 4 die Gasbrennkammer 2.

Bevor das Gas in die erste Verbrennungszone 11 strömt, kann es auch eine im vorderen Bereich 6 und in Strömungsrichtung S gesehen vor der ersten Verbrennungszone 11 angeordnete Vorreformationszone 19 durchströmen und in dieser bei einem

Verbrennungsluftverhältnis λ von $< 0,6$, insbesondere $< 0,5$ teilverbrannt bzw. vorreformiert werden. Durch die Vorreformierung des Gases wird im Gas enthaltener Teer abgebaut und es werden die im Teer gebundenen Stickstoffkomponenten freigesetzt. Dies begünstigt wiederum die Konversion von Stickstoff-Vorläufersubstanzen zu NO und N_2 in der ersten Verbrennungszone 11 und erhöht somit die Effektivität des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators 5 (d.h. den NO_x-Abbau), da Stickstoff-Vorläufersubstanzen (insbesondere NH₃) im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator 5 nicht oder nur teilweise umgesetzt werden und, falls sie in der zweiten Verbrennungszone 16 noch vorhanden sind, teilweise zu NO_x reagieren können.

Optional kann das Gas nach der zweiten Verbrennungszone 16 noch einen (z.B. im hinteren Bereich 7 oder an den Gasauslass 4 anschließend angeordneten) Oxidationskatalysator 23 durchströmen.

Bezugszeichenliste:

- | | |
|----|-----------------------------------|
| 1 | Vorrichtung |
| 2 | Gasbrennkammer |
| 3 | Gaseinlass |
| 4 | Gasauslass |
| 5 | Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator |
| 6 | vorderer Bereich |
| 7 | hinterer Bereich |
| 8 | isolierte Wände |
| 9 | Katalysatorisolierung |
| 10 | --- |
| 11 | erste Verbrennungszone |
| 12 | erste Oxidationsmittelzuführung |
| 13 | Oxidationsmitteleinlass |

- 14 Kühlmediumszuführung
- 15 Kühlmediumseinlass
- 16 zweite Verbrennungszone
- 17 zweite Oxidationsmittelzuführung
- 18 Abreinigungseinrichtung
- 19 Vorreformationszone
- 20 ---
- 21 weitere Oxidationsmittelzuführung
- 22 Wandkühlung
- 23 Oxidationskatalysator
- 24 Kammer
- 25 Entnahmeeinrichtung
- 26 weiterführende Leitung
- 27 Steuerung
- 28 erste Oxidationsmittelquelle
- 29 zweite Oxidationsmittelquelle

- S Strömungsrichtung
- Q1 erste Sauerstoffmesseinrichtung
- Q2 zweite Sauerstoffmesseinrichtung
- N Rauchgasmesseinrichtung
- T1 erster Temperatursensor
- T2 zweiter Temperatursensor
- D Differenzdrucksensor

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem brennbaren und staubarmen Gas oder Gasgemisch, das direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen erzeugt wird, wobei das Rauchgas in einer Gasbrennkammer (2) erzeugt wird, die an einem Ende einen Gaseinlass (3), an ihrem anderen Ende einen Gasauslass (4), und dazwischen einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) aufweist, der die Gasbrennkammer (2) in einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen vorderen Bereich (6) und einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen hinteren Bereich (7) mit thermisch isolierten Wänden (8) aufteilt, gekennzeichnet durch die folgenden in Strömungsrichtung (S) hintereinander erfolgenden Schritte:
 - Einleiten des Gases oder Gasgemisches über den Gaseinlass (3) in die Gasbrennkammer (2),
 - Teilverbrennen des Gases oder Gasgemisches in einer im vorderen Bereich (6) direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) angeordneten ersten Verbrennungszone (11), bei einem mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf 0,80 bis 0,99 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer mittels Kühlung auf 800°C bis 1000°C geregelten Temperatur,
 - Reinigen des Gases oder Gasgemisches im Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5), wobei insbesondere Stickoxide und Kohlenmonoxid katalytisch reduziert werden,
 - Nachverbrennen des Gases oder Gasgemisches in einer im hinteren Bereich (7) an den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) anschließenden zweiten Verbrennungszone (16), bei einem mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf > 1 geregelten Verbrennungsluftverhältnis und einer Temperatur von > 800°C

- Auslassen des aus dem Gas oder Gasgemisch erzeugten Rauchgases über den Gasauslass (4) aus der Gasbrennkammer (2).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Oxidationsmittel Luft, Sauerstoff oder ein Sauerstoff-Luft-Gemisch verwendet wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Oxidationsmittel in der ersten Verbrennungszone (11) in Strömungsrichtung (S) gesehen nur am Beginn der ersten Verbrennungszone (11) oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung (S) dahinter angeordneten Bereich zugeführt wird und/oder dass das Oxidationsmittel in der zweiten Verbrennungszone (16) in Strömungsrichtung (S) gesehen nur am Beginn der zweiten Verbrennungszone (16) oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung (S) dahinter angeordneten Bereich zugeführt wird.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlung in der ersten Verbrennungszone (11) durch eine Wandkühlung (22) erfolgt, wobei die Wandkühlung (22) durch Wärmeaustausch mit dem der zweiten Verbrennungszone (16) zuzuführenden Oxidationsmittel oder durch Wärmeaustausch mit den die Gasbrennkammer (2) umgebenden Wänden erfolgt.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlung in der ersten Verbrennungszone (11) durch die Zufuhr eines Kühlmediums, insbesondere von rezirkuliertem gekühltem Rauchgas oder Dampf, erfolgt, wobei das Kühlmedium in der ersten Verbrennungszone (11) vorzugsweise in Strömungsrichtung (S) gesehen hinter dem Oxidationsmittel zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Oxidationsmittel in der ersten Verbrennungszone (11) über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen und/oder das Oxidationsmittel in der zweiten Verbrennungszone (16) über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen und/oder ggf. das Kühlmedium in der ersten Verbrennungszone (11) über Düsen oder Düsenringe oder Düsenlanzen zugeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Oxidationsmittel in die zweite Verbrennungszone (16) bei Umgebungstemperatur oder vorgewärmt zugeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das der zweiten Verbrennungszone (16) zugeführte Oxidationsmittel durch einen stromabwärts der Gasbrennkammer (2) angeordneten Abgaswärmetauscher, durch Wärmeaustausch mit den Wänden der ersten Verbrennungszone (11) und/oder durch eine externe Vorwärmvorrichtung, z.B. elektrisch, vorgewärmt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wände der Gasbrennkammer (2) im vorderen Bereich (6) zumindest teilweise thermisch isoliert sind und/oder dass der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) thermisch isoliert ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlung und somit die Temperatur in der ersten Verbrennungszone (11) mittels einer Steuerung (27) geregelt wird, die dafür Informationen von wenigstens einem in oder an der ersten Verbrennungszone (11), insbesondere direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-

Katalysator (5), angeordneten und/oder wenigstens einem in oder an dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) angeordneten Temperatursensor (T1, T2), vorzugsweise Thermoelement, bezieht.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zufuhr des Oxidationsmittels und somit das Verbrennungsluftverhältnis in der ersten Verbrennungszone (11) mittels einer Steuerung (27) geregelt wird, die dafür Informationen von wenigstens einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone (11) messenden Lambdasonde, einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone (11) messenden Lasermesseinrichtung, einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone (11) messenden extraktiven Rauchgasmesseinrichtung und/oder einer den Stickoxidgehalt des aus dem Gasauslass (4) austretenden Rauchgases messenden Rauchgasmesseinrichtung (N) bezieht.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass in einer im vorderen Bereich (6) und in Strömungsrichtung (S) vor der ersten Verbrennungszone (11) angeordneten Vorreformationszone (19) ein Vorverbrennen des Gases oder Gasgemisches, bei einem mittels Zufuhr eines Oxidationsmittels auf $< 0,60$, vorzugsweise $< 0,50$, geregelten Verbrennungsluftverhältnis, stattfindet.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in den Gaseinlass (3) ein Gas oder Gasgemisch aus einer, vorzugsweise direkt mit dem Gaseinlass (3) verbundenen, Anlage zur Erzeugung von brennbaren Gasen mit einem Staubgehalt von $< 100 \text{ mg/Nm}^3$, insbesondere $< 20 \text{ mg/Nm}^3$, eingeleitet werden, wobei diese Anlage zur Erzeugung von brennbaren Gasen vorzugsweise ein

Gegenstromvergasungsreaktor, ein Festbettreaktor oder ein Gegenstrompyrolysereaktor ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass in einem im hinteren Bereich (7) und in Strömungsrichtung (S) gesehen nach der zweiten Verbrennungszone (16) oder anschließend an den Gasauslass (4) angeordneten Oxidationskatalysator (23) ein weiteres Reinigen des Gases oder Gasgemisches stattfindet, wobei insbesondere Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe katalytisch reduziert werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) vor, nach oder während dem Verfahren manuell oder automatisch, insbesondere über wenigstens eine Abreinigungseinrichtung 18, insbesondere eine Düsenlanze, abgereinigt wird.
16. Vorrichtung (1) zur Erzeugung eines Rauchgases aus einem brennbaren und staubarmen Gases oder Gasgemisches, das direkt oder indirekt aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen erzeugt wird, mit einer Gasbrennkammer (2), die an einem Ende einen Gaseinlass (3), an ihrem anderen Ende einen Gasauslass (4) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasbrennkammer (2) durch einen integrierten Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5), insbesondere zur katalytischen Reduktion von Stickoxiden und Kohlenmonoxid, in einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen vorderen Bereich (6) und einen in Strömungsrichtung (S) gesehenen hinteren Bereich (7) mit thermisch isolierten Wänden (8) aufgeteilt wird, dass im vorderen Bereich (6) direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) angeordnet eine erste Verbrennungszone (11) ausgebildet ist, die wenigstens eine

Kühleinrichtung und eine erste Oxidationsmittelzuführung (12) aufweist, und dass im hinteren Bereich (7) an den Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) anschließend eine zweite Verbrennungszone (16) ausgebildet ist, die eine zweite Oxidationsmittelzuführung (17) aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Oxidationsmittelzuführung (12) in Strömungsrichtung (S) gesehen am Beginn der ersten Verbrennungszone (11) oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung (S) dahinter angeordneten Bereich der ersten Verbrennungszone (11) wenigstens einen in die Gasbrennkammer (2) mündenden Oxidationsmitteleinlass (13) aufweist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Oxidationsmittelzuführung (17) in Strömungsrichtung (S) gesehen am Beginn der zweiten Verbrennungszone (16) oder am Beginn und in wenigstens einem in Strömungsrichtung (S) dahinter angeordneten Bereich der zweiten Verbrennungszone (16) wenigstens einen in die Gasbrennkammer (2) mündenden Oxidationsmitteleinlass (13) aufweist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Verbrennungszone (11) als Kühleinrichtung eine Wandkühlung (22) aufweist, wobei die Wandkühlung (22) insbesondere wenigstens eine Leitung oder Kammer (24) aufweist, die Teil der zweiten Oxidationsmittelzuführung (17) ist und für einen Wärmeaustausch mit der ersten Verbrennungszone (11) eingerichtet ist, wofür sie vorzugsweise in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer (2) in der ersten Verbrennungszone (11) steht, oder wobei die Wandkühlung (22) dazu

eingerrichtet ist, einen Wärmeaustausch mit Wänden, die die Gasbrennkammer (2) umgeben, auszuführen.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Verbrennungszone (11) als Kühleinrichtung eine Kühlmediumszuführung (14) aufweist, die insbesondere mit einer nach dem Gasauslass (4) angeordneten Entnahmeeinrichtung (25) von rezirkuliertem gekühltem Rauchgas oder Dampf verbunden ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlmediumszuführung (14) in Strömungsrichtung (S) gesehen hinter dem Oxidationsmitteleinlass (13) oder ggf. den Oxidationsmitteleinlässen (13) der ersten Verbrennungszone (11) wenigstens einen in die Gasbrennkammer (2) mündenden Kühlmediumseinlass (15) aufweist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17, 18 oder 21 und ggf. einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Oxidationsmitteleinlass (13) bzw. ggf. jeder der Oxidationsmitteleinlässe (13) der ersten Verbrennungszone (11) eine Düse oder ein Düsenring oder eine Düsenlanze und/oder der Oxidationsmitteleinlass (13) bzw. ggf. jeder der Oxidationsmitteleinlässe (13) der zweiten Verbrennungszone (16) eine Düse oder ein Düsenring oder eine Düsenlanze und/oder der Kühlmediumseinlass (15) bzw. ggf. jeder der Kühlmediumseinlässe (15) der ersten Verbrennungszone (11) eine Düse oder ein Düsenring oder eine Düsenlanze ist.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Oxidationsmittelzuführung (17) der zweiten Verbrennungszone (16) mit einem stromabwärts der Gasbrennkammer (2) angeordneten

Abgaswärmetauscher und/oder mit einer externen, z.B. elektrischen, Vorwärmevorrichtung verbunden ist und/oder wenigstens eine Leitung oder Kammer (24) aufweist, die für einen Wärmeaustausch mit der ersten Verbrennungszone (11) eingerichtet ist, und dafür vorzugsweise in Kontakt mit der Wand der Gasbrennkammer (2) in der ersten Verbrennungszone (11) steht.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Wände im vorderen Bereich (6) zumindest teilweise thermisch isoliert sind und/oder dass der Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5) thermisch isoliert ist.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) eine Steuerung (27) zum Regeln der Kühleinrichtung/en und somit der Temperatur in der ersten Verbrennungszone (11) aufweist, die mit wenigstens einem in oder an der ersten Verbrennungszone (11), insbesondere direkt vor dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator (5), angeordneten und/oder wenigstens einem in oder an dem Hochtemperatur-3-Wege-Katalysator angeordneten Temperatursensor (T1, T2), vorzugsweise Thermoelement, verbunden ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch einem der Ansprüche 16 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) eine Steuerung (27) zum Regeln des Mediumsstroms durch die erste Oxidationsmittelzuführung (12) und somit des Verbrennungsluftverhältnisses in der ersten Verbrennungszone (11) aufweist, die mit wenigstens einer den Sauerstoffgehalt der ersten Verbrennungszone messenden ersten Sauerstoffmesseinrichtung (Q1), vorzugsweise einer Lambdasonde, einer Lasermessvorrichtung oder einer extraktiven Rauchgasmesseinrichtung, und/oder einer den

Stickoxidgehalt des aus dem Gasauslass (4) austretenden Rauchgases messenden Rauchgasmesseinrichtung (N) verbunden ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasbrennkammer (2) im vorderen Bereich (6) eine in Strömungsrichtung (S) vor der ersten Verbrennungszone (11) angeordnete Vorreformationszone (19) mit einer weiteren Oxidationsmittelzuführung (21) aufweist.
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasbrennkammer (2) im hinteren Bereich (7) einen in Strömungsrichtung (S) nach der zweiten Verbrennungszone (16) angeordneten Oxidationskatalysator (23), insbesondere zur katalytischen Reduktion von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen, aufweist.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) eine Abreinigungseinrichtung (18) zur, insbesondere periodischen, Abreinigung des Hochtemperatur-3-Wege-Katalysators (5), vorzugsweise mittels wenigstens einer Düsenlanze, aufweist.
30. System zur Erzeugung eines Rauchgases aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen, dadurch gekennzeichnet, dass das System eine Anlage zur Erzeugung von brennbaren Gasen aus festen Biomassebrennstoffen, biogenen Reststoffen und/oder biogenen Abfällen, sowie eine damit verbundene Vorrichtung (1) zur Erzeugung eines Rauchgases aus dem brennbaren Gas oder Gasgemisch aufweist, dass die Anlage dazu eingerichtet ist das brennbare Gas oder Gasgemisch mit einem Staubgehalt von $< 100 \text{ mg/Nm}^3$, insbesondere $< 20 \text{ mg/Nm}^3$, bereitzustellen, wobei die Anlage vorzugsweise ein

Gegenstromvergasungsreaktor, ein Festbettreaktor oder ein Gegenstrompyrolysereaktor ist, und dass die Vorrichtung (1) eine Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 16 bis 29 ist.

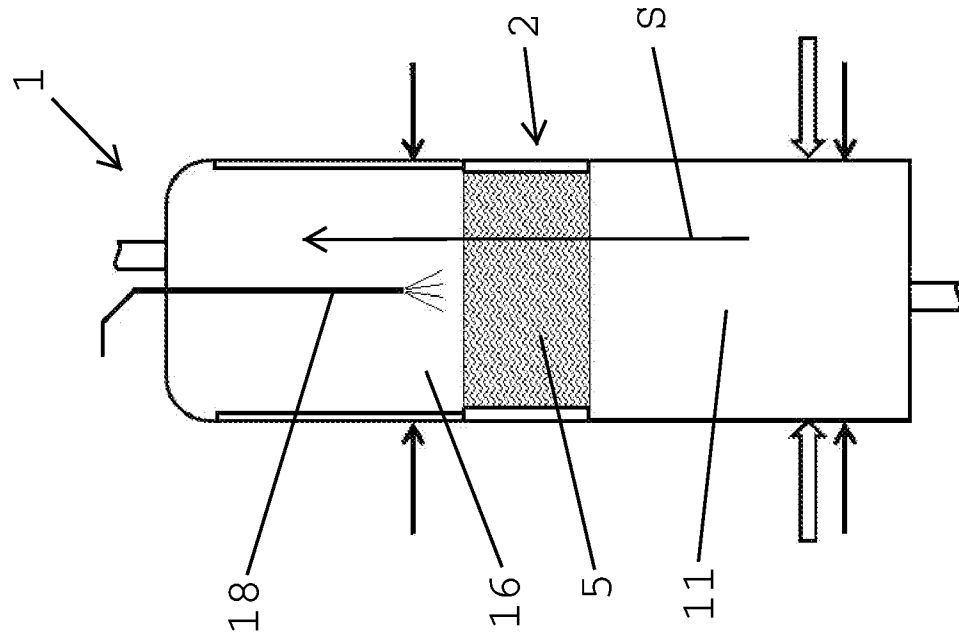


Fig. 2

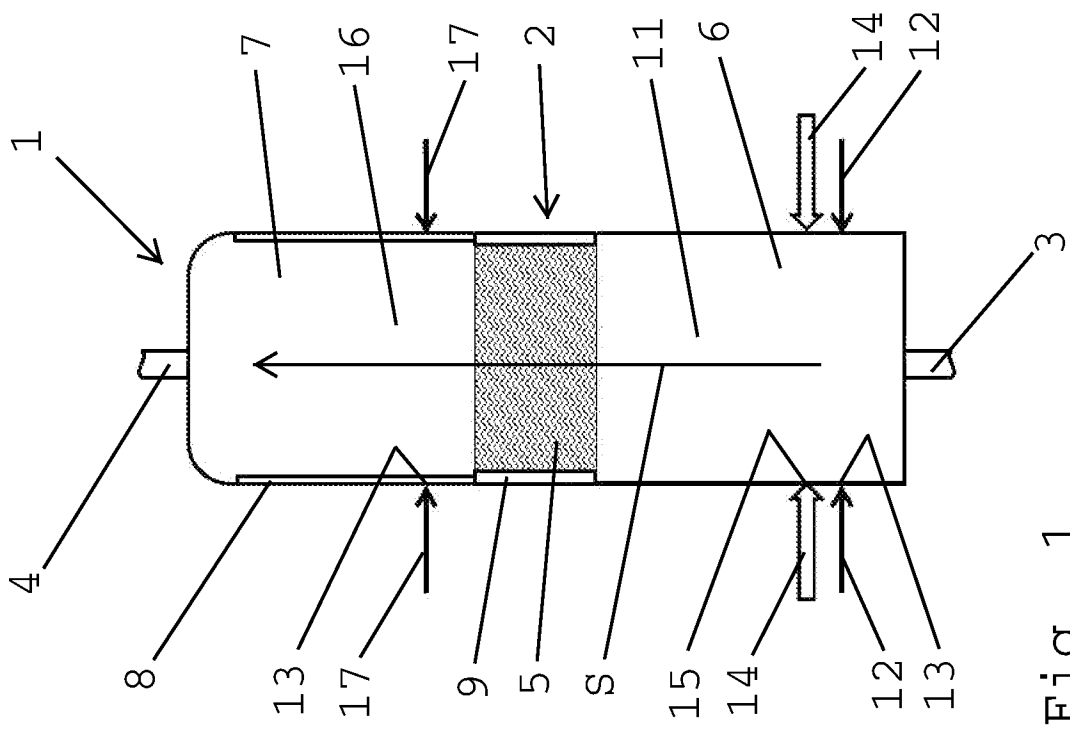


Fig. 1

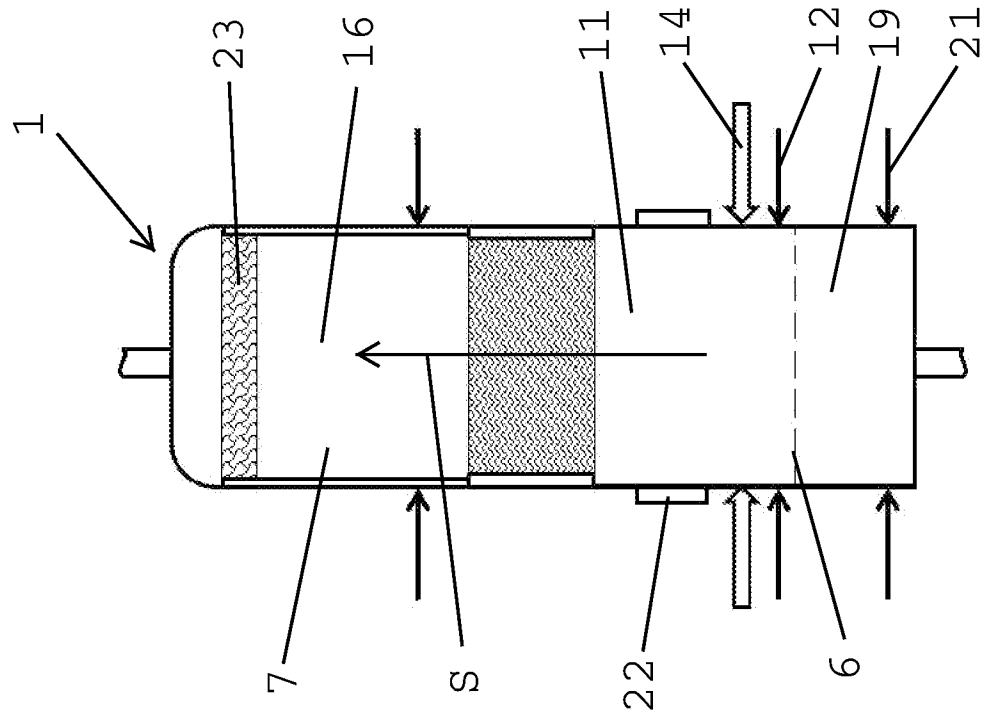


Fig. 4

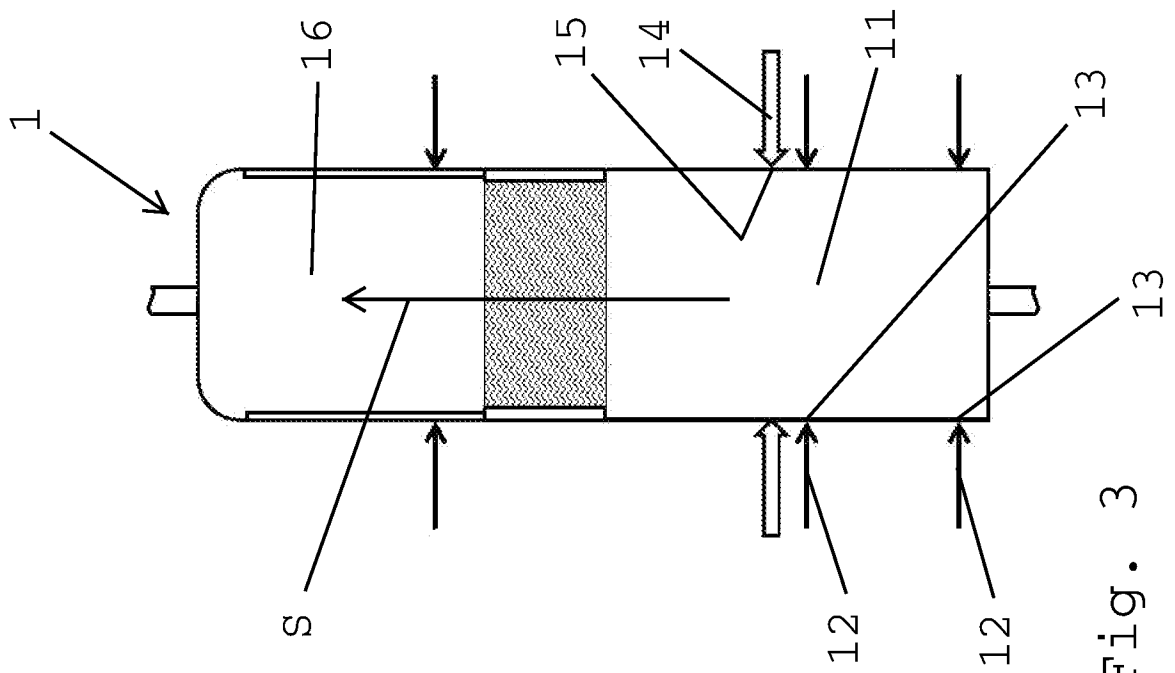


Fig. 3

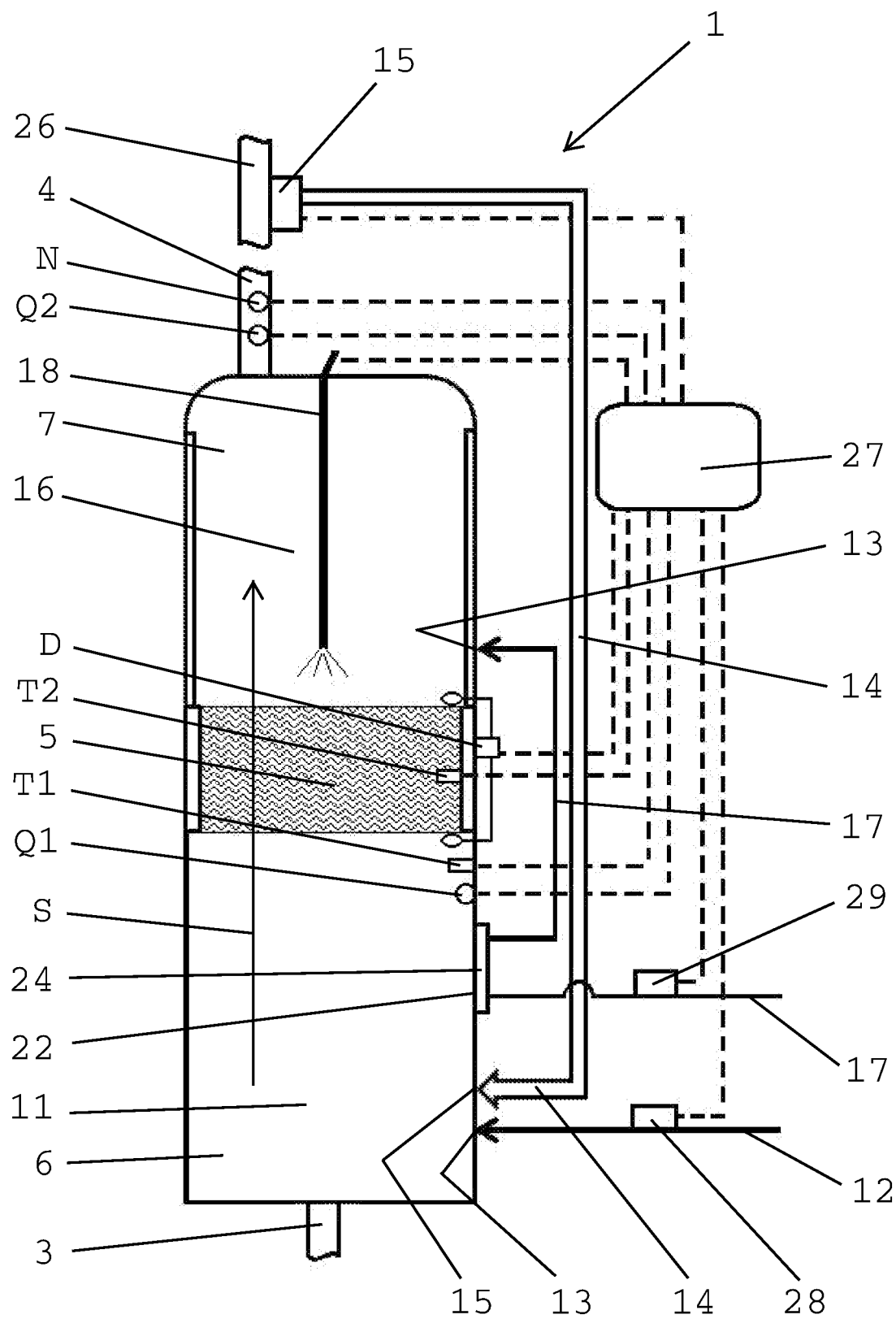


Fig. 5

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

B01D 53/00 (2006.01); B01D 53/86 (2006.01); B01D 53/94 (2006.01); F01N 3/10 (2006.01); F01N 9/00 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

B01D 53/00 (2016.05); B01D 53/86 (2013.01); B01D 53/94 (2013.01); B01D 53/9422 (2013.01); B01D 53/944 (2013.01); B01D 53/9445 (2017.05); F01N 3/10 (2014.11); F01N 9/00 (2018.08)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B01D, F01N

Konsultierte Online-Datenbank:

EPOQUE, PATENW, PATDEW, ESPACENET

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 02.05.2023 eingereichten Ansprüchen 1-30 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 3326100 A1 (LENTJES DAMPFKESSEL FERD [DE]) 07. Februar 1985 (07.02.1985) Seite 1, Anspruch 1; Seite 2, Ansprüche 3, 5, 6; Seite 3, Anspruch 9; Seite 4, Anspruch 13; Seite 19, Zeilen 6-18.	1, 2
X	DE 19521522 A1 (RUHRGAS AG [DE]) 19. Dezember 1996 (19.12.1996) Spalte 2, Zeilen 6-9, 18-19, 37-40; Spalte 2, Zeilen 63-68 und Spalte 3, Zeilen 1-15, Ansprüche 1-3	1, 2
A	EP 2987548 A2 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 24. Februar 2016 (24.02.2016)	1-30
A	KR 20200130261 A (VOCCI OY [FI]) 18. November 2020 (18.11.2020)	1-30
A	DE 102009003610 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 19. November 2009 (19.11.2009)	1-30
Datum der Beendigung der Recherche: 02.02.2024		
Seite 1 von 1		Prüfer(in): SUTTNER Thomas

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
- P** Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.