

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 130**

51 Int. Cl.:

B01D 53/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2011 E 14152889 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 2772301**

54 Título: **Proceso y aparato para reducir el contenido de óxidos de nitrógeno**

30 Prioridad:

09.06.2011 DE 102011105142
20.06.2011 DE 102011105419

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

20.10.2020

73 Titular/es:

**MEHLDAU & STEINFATH UMWELTTECHNIK
GMBH (100.0%)
Alfredstrasse 279
45133 Essen, DE**

72 Inventor/es:

VON DER HEIDE, BERND

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 788 130 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso y aparato para reducir el contenido de óxidos de nitrógeno

La presente invención se refiere al campo técnico del tratamiento de gases residuales, en particular el tratamiento de gases residuales que contienen óxidos de nitrógeno.

5 La presente invención se refiere en particular a un proceso para tratar gases residuales que contienen óxido de nitrógeno de procesos industriales, por ejemplo, gases de combustión, con el fin de eliminar o separar los óxidos de nitrógeno y/o con el fin de reducir el contenido de óxido de nitrógeno por medio de la reducción química de los óxidos de nitrógeno. En particular, la presente invención se refiere a un proceso para eliminar óxidos de nitrógeno de gases residuales de plantas industriales, por ejemplo, centrales eléctricas, en particular centrales térmicas combinadas o
10 plantas de incineración de residuos.

Además, la presente invención se refiere a un aparato para tratar gases residuales que contienen óxido de nitrógeno de procesos industriales, por ejemplo, gases de combustión, con el fin de eliminar o separar los óxidos de nitrógeno o bien con el fin de reducir el contenido de óxido de nitrógeno por medio de la reducción química de los óxidos de nitrógeno.

15 Las reacciones de combustión en presencia de aire forman óxidos de nitrógeno metaestables, generalmente tóxicos y reactivos, conocidos como óxidos de nitrógeno. La formación de óxidos de nitrógeno se produce en mayor medida como resultado de la combustión o termólisis y pirólisis de compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen nitrógeno, lo que ocurre en plantas de combustión a gran escala, tales como centrales de energía térmica combinadas o plantas de incineración de residuos.

20 Los óxidos de nitrógeno, en particular los compuestos monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno conocidos bajo el término de gases nitrosos, que también se denotan con la fórmula abreviada NO_x, no solo son tóxicos y provocan irritación y daño al sistema pulmonar, sino que también aumentan la formación de lluvia ácida ya que reaccionan con la humedad para formar ácidos.

25 Sin embargo, la liberación de óxidos de nitrógeno también es problemática por otras razones de protección del medio ambiente ya que en primer lugar promueven la formación de niebla tóxica y de ozono nocivo cerca del suelo y, en segundo lugar, actúan como gases de efecto invernadero y aumentan el calentamiento global.

Debido a los efectos negativos de los óxidos de nitrógeno en la salud y el medio ambiente y, no menos importante, debido al daño económico asociado con los mismos, se han realizado intentos durante mucho tiempo para minimizar o prevenir la liberación de óxidos de nitrógeno en los procesos de combustión. En el caso de los turismos, esto se
30 consigue, por ejemplo, mediante el uso de catalizadores que permiten la eliminación prácticamente completa de los óxidos de nitrógeno de los gases residuales.

Para reducir la emisión de óxidos de nitrógeno de plantas industriales, en particular grandes plantas industriales de combustión, se han desarrollado diversos procesos para la eliminación o desnitrificación del óxido de nitrógeno (deNO_x) que, por sí solos o en combinación, suponen una reducción eficaz o evitación eficaz de los óxidos de nitrógeno
35 en los gases residuales, en particular los gases de combustión, en vista de la posición legal prevalente y también las consideraciones económicas.

Los procesos y medidas para reducir el contenido de óxido de nitrógeno de los gases residuales, en particular los gases de combustión, se pueden dividir en medidas primarias y medidas secundarias.

40 En el caso de las medidas primarias, el proceso de combustión se controla de tal manera que el contenido de óxido de nitrógeno de los gases residuales resultantes sea lo más bajo posible; los óxidos de nitrógeno no deberían formarse, por así decirlo. Las medidas principales incluyen, por ejemplo, la recirculación de gases de combustión, en la que el gas de combustión se recircula a la zona de combustión, y también las etapas de aire y combustible en las que se controla la combustión de tal manera que se obtienen diversas zonas de combustión que tienen diferentes concentraciones de oxígeno. Además, la formación de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión también se
45 puede reducir mediante la adición de aditivos o mediante enfriamiento rápido, es decir, mediante la pulverización de agua para reducir la temperatura durante el proceso de combustión.

En contraposición con las medidas primarias, que están destinadas a reducir la formación de óxidos de nitrógeno, el uso de medidas secundarias está destinado a reducir la concentración de los óxidos de nitrógeno en los gases residuales, en particular los gases de combustión. Las medidas secundarias incluyen, por ejemplo, procesos de
50 separación en los que los óxidos de nitrógeno se unen químicamente o se eliminan de la corriente de gases de combustión. Sin embargo, una desventaja de los procesos de separación es que se obtienen grandes cantidades de productos de desecho, por ejemplo, agua de proceso, que a menudo están contaminados con otros componentes del gas de combustión y deben eliminarse, lo que cuesta dinero.

55 Por esta razón, las medidas secundarias empleadas en las plantas industriales modernas son generalmente procesos que se basan en la reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno elemental y dar lugar a sólo pequeñas cantidades

de productos de desecho, con una distinción generalmente realizada entre procesos catalíticos y procesos no catalíticos.

5 La reducción catalítica selectiva (SCR) de los óxidos de nitrógeno abarca procesos catalíticos en los que los óxidos de nitrógeno se convierten en nitrógeno elemental con la ayuda de catalizadores metálicos. En general, los mejores valores de desnitrificación se obtienen mediante procesos SCR, pero el uso del catalizador hace que el proceso sea significativamente más costoso y menos viable económicamente. Además, las plantas para llevar a cabo el proceso SCR son extremadamente costosas no solo para adquirirlas sino también para mantenerlas, ya que los catalizadores sensibles deben tratarse o reemplazarse a intervalos cortos de tiempo. Particularmente en grandes plantas de combustión cuya composición del combustible a menudo se puede determinar solo de una manera insatisfactoria, por ejemplo, plantas de incineración de residuos, siempre existe el riesgo de envenenamiento de los catalizadores por impurezas en el gas de combustión. Este riesgo solo puede reducirse mediante medidas costosas adicionales.

La reducción selectiva no catalítica (SNCR), por otro lado, se basa en la termólisis de compuestos de nitrógeno, en particular amoníaco o urea, que después reacciona en una reacción de proporcionalización con los óxidos de nitrógeno para formar nitrógeno elemental.

15 En comparación con la reducción catalítica selectiva, la reducción catalítica no selectiva es significativamente más barata de llevar a cabo: así, los costes de adquisición y mantenimiento de plantas SNCR son del 10 al 20% de los costes de las correspondientes plantas SCR.

20 Sin embargo, un problema con los procesos de SNCR es que su eficacia es menor que la eficacia de los procesos catalíticos, de modo que, por ejemplo, si se diera el caso de una reducción adicional en los valores límite legalmente permitidos para óxidos de nitrógeno en gases de residuales, en particular gases de combustión, la mayoría de las plantas de SNCR ya no podrían operar.

25 Una desventaja adicional de los procesos basados en la reducción selectiva no catalítica de óxidos de nitrógeno es que el agente de reducción debe usarse en exceso y no reacciona por completo, de modo que el gas residual contiene una carga de amoníaco que a veces no es insignificante. El exceso de amoníaco en el gas residual tiene que o separarse o su contenido debe reducirse mediante medidas de ingeniería de proceso, de tal manera que sea posible la liberación del flujo de gas residual al medio ambiente.

30 El documento de patente internacional WO 2004/105928 A2 se refiere a la inyección por zonas de composiciones variables de productos químicos, en particular un reactivo basado en amoníaco e hidrocarburos, a través de lancetas de inyección colocadas en una formación de cuadrícula para definir zonas planas en un paso del horno de convención de un horno.

El suministro de reactivos se controla de modo que se determina individualmente para cada zona discreta de la cuadrícula dependiendo de las condiciones de esta zona.

35 El documento de patente de los Estados Unidos US 5262138A se refiere a la eliminación de óxidos de nitrógeno (NOx) de corrientes gaseosas con una composición de urea-amoníaco-agua premezclada que es estable bajo las condiciones de transporte.

40 La publicación "NOx Reduction for the Future with SNCR Technology for Medium and large Combustion Plants" B. von der Heide, Power Engineering and Environments, Ostrava (República Checa), 1.-3, setiembre 2010, divulga la medición de los perfiles de temperatura de las cámaras de combustión con mediciones acústicas. Además, el documento divulga el cambio de los niveles de inyección o lancetas individuales para la introducción de los agentes de reducción en la corriente de gas residual dependiendo de la temperatura de la cámara de combustión.

45 El documento de patente alemana DE 10 2008 036 099 A1 se refiere a un aparato para la desnitrificación de los gases de combustión de un generador de corriente de vapor de combustión de fósiles, en particular una caldera de generación de vapor de una central de energía, con medios para introducir a presión y a un intervalo de temperaturas predeterminado un reactivo efectivo dentro de los gases de combustión calientes contenidos en el espacio interior del generador de vapor. El aparato contiene dispositivos de inyección que comprenden un conjunto de lancetas de inyección distribuidas en el espacio y un dispositivo de control para determinar la distribución de las temperaturas respectivas en el espacio interior y para seleccionar las lancetas de inyección adecuadas basado en la distribución de la temperatura.

50 Además, también hay procesos que se basan tanto en un modo de acción catalítico como también en el uso de agentes de reducción, pero estos procesos tampoco pueden superar las desventajas en principio de los procesos respectivos (altos costos con el uso de procesos catalíticos y baja efectividad con el uso de agentes de reducción).

55 Por lo tanto es un objeto de la presente invención proporcionar un proceso y un aparato o planta para tratar gases residuales que contienen óxido de nitrógeno de procesos industriales, por ejemplo, gases de combustión, con el fin de eliminar o separar los óxidos de nitrógeno y/o para los fines de reducir el contenido de óxido de nitrógeno por medio de la reducción química de los óxidos de nitrógeno, con los problemas y desventajas mencionados anteriormente que se producen en la técnica anterior siendo evitados al menos en gran medida o al menos haciéndolos menos serios.

Un objeto particular de la presente invención es proporcionar un proceso y un aparato o planta adecuados para llevar a cabo este proceso, por medio del cual los óxidos de nitrógeno se pueden eliminar de los gases residuales de las plantas industriales, con la eficiencia de un proceso de reducción catalítica selectiva que se logra al menos inicialmente, pero a costos comparables a una reducción selectiva no catalítica convencional.

5 El objetivo anterior se consigue según la invención mediante un proceso según la reivindicación 1; desarrollos ventajosos adicionales y realizaciones ventajosas adicionales del proceso de la invención son materia de las reivindicaciones del proceso dependientes.

10 La presente invención proporciona además un aparato o planta según la reivindicación 8; desarrollos ventajosos adicionales y realizaciones ventajosas adicionales del proceso de la invención son materia de las reivindicaciones del proceso dependientes.

No hace falta decir que las características, rasgos, realizaciones y variantes y también ventajas o similares que se encuentran a continuación, con el fin de evitar repeticiones innecesarias, mencionadas solo para un aspecto de la invención, naturalmente, también se aplican de manera análoga a los otros aspectos de la invención sin que sea necesario mencionarlo explícitamente.

15 Además, no hace falta decir que en caso de indicación en lo siguiente de valores, números e intervalos, los valores respectivos, números e intervalos indicados no deben interpretarse como una restricción; Para una persona experta en la materia, estará claro que, en casos individuales o para usos particulares, se pueden hacer desviaciones de los intervalos o figuras indicados sin salirse del alcance de la presente invención.

20 Además, todos los valores y parámetros o similares indicados a continuación pueden, en principio, medirse o determinarse utilizando métodos de determinación estandarizados o explícitamente indicados, o bien utilizando métodos de determinación que son bien conocidos por una persona experta en este campo.

Sujeto a lo anterior, la presente invención se describirá con más detalle a continuación.

25 En consecuencia, la presente invención proporciona, según un primer aspecto de la presente invención, un proceso para eliminar óxidos de nitrógeno de gases residuales de plantas industriales por medio de reducción química en donde al menos dos agentes de reducción diferentes que contienen nitrógeno se introducen en la corriente de los gases residuales que contienen óxido de nitrógeno,

en donde el amoníaco y la urea en la forma de sus soluciones acuosas se utilizan como agentes de reducción diferentes,

30 en donde los agentes de reducción son introducidos en la corriente de los gases residuales a diferentes tiempos y/o físicamente separados,

en donde los agentes de reducción se introducen en forma con atomización en la corriente de gases residuales por medio de lancetas de introducción atomizado,

en donde se determina al menos un perfil de temperaturas de los gases residuales en forma de un plano,

35 en donde las lancetas de introducción con atomización se controlan individualmente o en grupos sobre las bases del perfil de temperaturas medido de los gases residuales, y en donde la cantidad de agentes de reducción introducidos en los gases residuales y/o el punto de tiempo de introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales se controla mediante la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o el contenido de óxido de nitrógeno residual del gas puro obtenido después del tratamiento.

40 Para los fines de la presente invención, los óxidos de nitrógeno se reducen por reacción química con el agente de reducción para formar nitrógeno elemental; esto, en primer lugar, permite lograr una reducción efectiva del contenido de óxido de nitrógeno de los gases de residuales resultantes y, en segundo lugar, no se obtienen líquidos y sólidos contaminados con constituyentes de gases de combustión, como es el caso, por ejemplo, con las reacciones de separación, en las que los líquidos y sólidos posteriormente deben eliminarse de manera complicada y costosa.

45 El uso deliberado de al menos dos agentes de reducción diferentes que contienen nitrógeno que, por ejemplo, tienen una cinética de reacción diferente, en particular una velocidad de reacción y/o intervalos de temperatura diferentes para un efecto de reducción óptimo, permite que la reducción de los óxidos de nitrógeno en los gases residuales, en particular, los gases de combustión, se pueda adaptar de forma individual y flexible y, además, permiten lograr una eliminación extremadamente eficaz de los óxidos de nitrógeno de los gases de residuales. En particular, el proceso puede reaccionar rápidamente a las fluctuaciones en el contenido de óxido de nitrógeno de los gases de combustión, como resultado de lo cual debe usarse una cantidad menor de agentes de reducción y/o puede lograrse una reducción mejorada del contenido de óxido de nitrógeno.

50 Sorprendentemente, el proceso de la invención permite una eliminación significativamente más eficiente de óxidos de nitrógeno de gases residuales, en particular gases de combustión, y su eficiencia o efectividad es comparable a la eficiencia de los procesos de reducción catalítica.

Además, el uso de dos agentes de reducción diferentes que contienen nitrógeno también sorprendentemente consume cantidades más pequeñas de agente de reducción que, por ejemplo, el uso de un solo agente de reducción. Cuando, por ejemplo, las soluciones acuosas de amoníaco y las soluciones de urea se usan juntas, se consumen cantidades significativamente menores de agentes de reducción que en el caso del uso exclusivo de amoníaco o urea.

- 5 El proceso de la invención tiene, por lo tanto, una eficiencia significativamente mayor que los procesos conocidos hasta ahora de la técnica anterior y puede llevarse a cabo de forma económica y flexible.

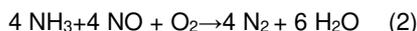
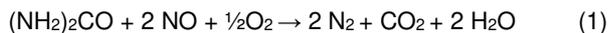
Además, la corrosión de las partes de la planta que ocurre en los procesos de SNCR de la técnica anterior, como se observa, en particular, cuando se usa urea como agente de reducción, puede evitarse mediante el proceso de la invención.

- 10 Los óxidos de nitrógeno eliminados en primer lugar y principalmente en el proceso de la presente invención son predominantemente gases nitrosos, es decir, monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno. Sin embargo, otros óxidos de nitrógeno también se eliminan de manera confiable de la corriente de gases de combustión.

- 15 El proceso de la invención, en particular la reducción de los óxidos de nitrógeno, generalmente se lleva a cabo en ausencia de un catalizador. Por lo tanto, los altos costos de adquisición y mantenimiento de un catalizador para la reducción de los óxidos de nitrógeno no se producen en el proceso de la invención.

El proceso de la invención se lleva a cabo preferiblemente como una reducción selectiva no catalítica.

- 20 En la reducción selectiva no catalítica (SNCR) de óxidos de nitrógeno, los agentes de reducción son generalmente pulverizados en forma de solución acuosa (por ejemplo, soluciones acuosas de amoníaco o soluciones acuosas de urea) o en forma gaseosa (por ejemplo amoníaco) en los gases residuales calientes o gases de combustión. Los agentes de reducción después reaccionan con los óxidos de nitrógeno, como se indica como ejemplo de los agentes de reducción amoníaco y urea con la ayuda de las ecuaciones de reacción (1) y (2) a continuación, para formar nitrógeno molecular, agua y dióxido de carbono.



- 25 El intervalo de temperatura óptimo en el que se logra una reducción significativa de los óxidos de nitrógeno está, dependiendo de la composición del gas de combustión, generalmente en el intervalo de 900 a 1100°C. Por encima de este intervalo de temperatura, el amoníaco se oxida en mayor medida, es decir, se forman óxidos de nitrógeno de adición.

- 30 A temperaturas por debajo de este intervalo, la velocidad de reacción se reduce, como resultado de lo cual se produce la rotura del amoníaco y puede conducir, a lo largo de la ruta adicional del gas de combustión, a la formación de sales de amoníaco y, por lo tanto, a problemas secundarios tales como la corrosión; por lo tanto, la rotura del amoníaco debe mantenerse lo más baja posible.

- 35 El término rotura del amoníaco se refiere en particular a la parte del amoníaco que no reacciona con los óxidos de nitrógeno para formar nitrógeno elemental. El amoníaco se origina o por la introducción excesiva de amoníaco o es un producto de degradación formado por termólisis de los agentes de reducción que contienen nitrógeno, por ejemplo, la urea.

- 40 Para la mayoría de las aplicaciones, hasta ahora se ha utilizado urea o amoníaco acuoso como agente de reducción. Para lograr la eliminación óptima de los óxidos de nitrógeno con una rotura mínima del amoníaco, el agente de reducción debe mezclarse uniformemente con los gases de combustión en el intervalo de temperatura óptimo. Para lograr la fuerza para una mezcla completa, se requiere un aporte de energía considerablemente mayor para el amoníaco acuoso que para la urea, ya que el amoníaco tiene una presión de vapor significativamente mayor.

- 45 Además, las soluciones acuosas de urea y amoníaco muestran una cinética de reacción diferente debido, en particular, a que la urea disuelta en agua es capaz de disociarse en radicales libres reactivos solo cuando el agua que rodea las partículas de urea se ha vaporizado por completo, que es por lo que se asegura una gran profundidad de penetración en los gases residuales con un aporte de energía relativamente bajo.

- 50 Cuando, por otro lado, se usan soluciones acuosas de amoníaco, el amoníaco se vaporiza de las gotitas de agua individuales inmediatamente después de la entrada en los gases de combustión, de modo que la reacción tiene lugar preferentemente en las proximidades de las paredes del reactor. Por lo tanto, la presión parcial del amoníaco es de 1 bar a una temperatura tan baja como 38°C. El impulso necesario para la profundidad de penetración óptima de los agentes de reducción puede lograrse en el caso del entonces amoníaco gaseoso solo con una entrada de energía más alta debido a la menor masa en comparación con una gotita de agua, por lo que la cantidad respectiva de vapor o aire tiene que incrementarse significativamente. Además de los mayores costos operativos incurridos por los mayores consumos de energía, los costos de capital para una planta operada con amoníaco acuoso son

significativamente más altos debido a los requisitos de seguridad, ya que el amoníaco es un gas tóxico que se disuelve fácilmente en agua a temperatura ambiente.

El amoníaco acuoso se asigna por lo tanto a la clase 2 de contaminación del agua y además está sujeto a las pautas técnicas para las calderas de vapor debido al alto potencial de peligro para el medio ambiente.

5 Debido a la unión química del amoníaco en la molécula de urea, las soluciones de urea pueden, por el contrario, calentarse a 106°C sin que se desprenda gas amoníaco. La descomposición de la urea en gas de amoníaco y dióxido de carbono comienza solo a 130°C y alcanza un máximo de aproximadamente 380°C. Dado que estas altas temperaturas no se pueden alcanzar durante el almacenamiento, no se requieren las precauciones de seguridad necesarias para el amoníaco acuoso. Según la ley alemana de gestión del agua (WHG), la solución de urea se asigna solo a la clase 1 de peligro para el agua (es decir, solo hay que asegurarse de que la urea no pueda entrar en el agua superficial y subterránea para lo cual una bandeja colectora para el tanque de almacenamiento es suficiente).

10 Sin embargo, las soluciones de urea tienen la desventaja de que, en caso de que se introduzca demasiada urea, esta se deposita en forma sólida en partes de la planta y conduce a una corrosión indeseable. Esto es aún más importante ya que las plantas para llevar a cabo procesos SNCR se instalan relativamente cerca de las cámaras de combustión, es decir, aguas arriba de los intercambiadores de calor que generalmente están presentes. En el caso de cargas grandes o gran potencia del recipiente de combustión, la inyección de la solución de urea en la región del intercambiador de calor puede entonces ser necesaria para permitir una reducción eficiente de los óxidos de nitrógeno. Sin embargo, esto conlleva el riesgo de que la urea sólida se deposite en los intercambiadores de calor y, por lo tanto, conduzca a la corrosión de las piezas, lo que reduce la vida útil de la planta y aumenta considerablemente los costos operativos.

15 También se proporciona generalmente, para los fines de la presente invención, que el contacto con o la introducción de los agentes de reducción se lleve a cabo de tal manera que los agentes de reducción reaccionen con los óxidos de nitrógeno, en particular reduzcan los óxidos de nitrógeno, preferiblemente a nitrógeno elemental.

20 Además, se ha encontrado que es útil, en cuanto a los diferentes agentes de reducción, que se seleccionen y usen de tal manera que en cada caso reaccionan con los óxidos de nitrógeno para formar nitrógeno elemental con proporcionalidad. La proporcionalidad de los óxidos de nitrógeno y agentes de reducción que contienen nitrógeno para formar nitrógeno elemental y, además, preferiblemente componentes gaseosos, evita la formación de productos de desecho adicionales que deben eliminarse de forma costosa.

25 Se obtienen resultados particularmente buenos según la presente invención cuando los diferentes agentes de reducción reaccionan bajo diferentes condiciones de reacción con los óxidos de nitrógeno, en particular a diferentes temperaturas o bajo diferentes condiciones cinéticas y/o termodinámicas.

30 Por lo tanto, los diferentes agentes de reducción difieren preferiblemente no solo en términos de su composición química sino también en sus propiedades físicas o sus temperaturas de reacción y velocidades de reacción preferidas. Esto hace posible crear un nuevo tipo de reactivo de reducción que se puede adaptar de forma individual y flexible al uso respectivo mediante la mezcla dirigida de los al menos dos agentes de reducción diferentes. Idealmente, las propiedades de los agentes de reducción utilizados difieren en tal medida que se puede obtener un intervalo de efectos óptimos muy amplio mezclándolos.

35 Con respecto a la introducción de los agentes de reducción en los gases residuales que contienen óxidos de nitrógeno, se ha encontrado que es ventajoso usar todos los agentes de reducción en forma de soluciones acuosas. El uso de soluciones acuosas y la variación dirigida de las concentraciones de agentes de reducción en las soluciones respectivas permiten controlar la profundidad de penetración de los agentes de reducción en la corriente de gases de combustión de una manera específica, lo que hace posible el uso personalizado y eficiente de los agentes de reducción.

40 Como diferentes agentes de reducción, se usa en primer lugar el amoníaco y en segundo lugar la urea, en la forma de sus soluciones acuosas.

45 El uso de soluciones de amoníaco tiene la ventaja de que son económicas para su adquisición a escala industrial, como resultado de lo cual el proceso de la invención puede llevarse a cabo de manera muy económica, y el amoníaco se evapora inmediatamente de la solución acuosa y reacciona con los óxidos de nitrógeno cerca de la pared del reactor. Sin embargo, la última ventaja también es una desventaja, ya que a menudo es difícil o imposible lograr una profundidad de penetración en la corriente de gas de combustión que permita una reducción eficiente de los óxidos de nitrógeno cuando se usan soluciones de amoníaco.

50 Las soluciones de urea, por otra parte, tienen la ventaja de que se puede conseguir una profundidad grande de penetración en la corriente de gas de combustión cuando se utilizan, ya que la urea se descompone en radicales libres de NH₂ y puede reaccionar con los óxidos de nitrógeno solamente después de la vaporización de todo el agua. Sin embargo, por otro lado, las soluciones de urea conllevan el riesgo de corrosión de partes de la planta, en particular cuando se introducen cerca de los intercambiadores de calor.

Sin embargo, la combinación dirigida de los dos agentes de reducción mencionados anteriormente, en particular en los lugares de acción que son ventajosos en cada caso, permite evitar las desventajas respectivas de los agentes de reducción individuales y solo aprovechar las ventajas.

5 Tanto las soluciones de amoníaco como las soluciones de urea pueden almacenarse fácilmente en tanques diseñados adecuadamente, y pueden proporcionarse para que las soluciones respectivas se diluyan más con agua antes o después de cualquier mezcla que pueda tener lugar.

El amoníaco se proporciona o usa preferiblemente en forma de una solución acuosa que contiene del 10 al 35% en peso, preferiblemente del 15 al 30% en peso, más preferiblemente del 20 al 30% en peso, más preferiblemente aproximadamente el 25% en peso, de NH_3 , basado en la solución.

10 Se ha encontrado que es ventajoso para los propósitos de la presente invención que la urea se proporcione o use en forma de una solución acuosa que contiene del 10 al 50% en peso, en particular del 20 al 50% en peso, preferiblemente del 30 al 50% en peso, más preferiblemente del 40 al 45% en peso, de urea, basado en la solución.

También puede proporcionarse que la solución acuosa de urea o la solución acuosa de amoníaco se mezclen con agua adicional antes de la introducción de la solución o soluciones en la corriente de gas residual.

15 Tanto las soluciones de amoníaco como las soluciones de urea están disponibles comercialmente en los intervalos de concentración mencionados anteriormente y pueden almacenarse fácilmente. La adición opcional de agua de proceso adicional a las mezclas base respectivas permite el ajuste específico de la profundidad de penetración de los agentes de reducción en el gas de combustión y también conduce al enfriamiento del gas de combustión a las temperaturas necesarias para la reducción y además permite el ajuste preciso del tamaño de la gotita de las soluciones de los
20 agentes de reducción introducidos en la corriente de gases residuales. Esto también tiene una influencia positiva en la cinética de reacción.

Con respecto a la introducción de los agentes de reducción en los gases residuales que contienen óxidos de nitrógeno, también se puede proporcionar que los diferentes agentes de reducción, o sea, el amoníaco y la urea, sean introducidos en diferentes tiempos y/o físicamente por separado en la corriente de gas residual.

25 Para lograr una reducción muy eficiente y efectiva de los óxidos de nitrógeno en los gases residuales, se introducen los diferentes agentes de reducción o en diferentes tiempos y/o físicamente por separado en la corriente de gases de combustión durante el curso del proceso.

30 El proceso de la invención permite una introducción extremadamente flexible, que puede adaptarse a las condiciones de proceso respectivas, de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales, en particular la corriente de gas de combustión. Aparte de esta separación de tiempos en la introducción de los agentes de reducción, es también posible para los agentes de reducción ser introducidos en diferentes lugares. Con este propósito, por ejemplo, un agente de reducción único puede ser introducido en un lugar en el reactor, mientras que otro agente de reducción se introduce en otro lugar.

35 Particularmente se pueden lograr buenos resultados, cuando el amoníaco y la urea se introducen en una relación en peso de amoníaco/urea de 99 : 1 a 1 : 99, en particular de 95 : 5 a 5 : 95, preferiblemente de 9 : 1 a 1 : 9, más preferiblemente de 7 : 1 a 1 : 7, aún más preferiblemente de 4 : 1 a 1 : 6, particularmente preferiblemente de 2 : 1 a 1 : 5, en la corriente de gases residuales. Dentro de los intervalos mencionados anteriormente, se observa una eficiencia particularmente alta en la eliminación de óxidos de nitrógeno de los gases residuales y en una acción sinérgica del amoníaco y la urea, que se refleja no solo en una reducción significativa de los óxidos de nitrógeno sino también en
40 un consumo significativamente menor de agentes de reducción.

45 La introducción de los agentes de reducción en los gases residuales que contienen óxidos de nitrógeno se puede efectuar por medio de muchas formas técnicas. Según la invención, los agentes de reducción se introducen en forma atomizada. La introducción con atomización en particular puede efectuar una dispersión fina de los agentes de reducción junto con una excelente profundidad de penetración de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales o corriente de gases de combustión, lo que hace posible una reducción particularmente efectiva de los óxidos de nitrógeno.

Según la invención, los agentes de reducción se introducen en la corriente de gases residuales por medio de dispositivos de introducción con atomización, por ejemplo, lancetas de introducción con atomización. La presión requerida para la introducción con atomización generalmente se genera por medio de aire comprimido o vapor.

50 Aquí, es posible que cada lanceta de introducción con atomización tenga una o más, en particular de 1 a 20, preferiblemente de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 10, particularmente preferiblemente de 1 a 5, boquillas para la introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales. Con varias boquillas por lanceta de introducción con atomización se logra una distribución particularmente fina y uniforme de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales.

- 5 A este respecto, también se ha encontrado que es ventajoso que las lancetas de introducción con atomización estén dispuestas de 1 a 10, en particular de 1 a 7, preferiblemente de 1 a 5, planos de introducción con atomización. La disposición de las lancetas de introducción con atomización en planos de introducción con atomización hace posible asegurarse de que toda la sección transversal del reactor o todo el ancho de la corriente de gas de combustión pueda estar cubierto por los agentes de reducción.
- Es posible que cada plano de introducción con atomización tenga de 1 a 20, en particular de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 12, lancetas de introducción con atomización.
- En general, los agentes de reducción se introducen en la corriente del gas de combustión mediante de 1 a 200, en particular de 2 a 100, preferiblemente de 5 a 60, lancetas de introducción con atomización.
- 10 Según la invención, las lancetas de introducción con atomización se controlan individualmente y/o en grupos, preferiblemente individualmente.
- 15 Se obtienen resultados particularmente buenos cuando la salida de los agentes de reducción de las lancetas de introducción con atomización se controla individualmente para cada lanceta de introducción con atomización y/o para grupos de lancetas de introducción con atomización. Las lancetas de introducción con atomización individuales pueden regularse preferiblemente individualmente o al menos en grupos ya que la corriente de gas residual, en particular la corriente de gas de combustión, no es homogénea, sino que está sujeta a grandes variaciones de temperatura y composición en el espacio y el tiempo. Para garantizar un uso particularmente eficiente de los agentes de reducción, las lancetas de introducción con atomización pueden por lo tanto ventajosamente regularse individualmente, es decir, las lancetas de introducción con atomización pueden ventajosamente ponerse en funcionamiento o desconectarse individualmente, y la presión y, por lo tanto, la profundidad de penetración de los agentes de reducción en la corriente del gas residual también se puede regular individualmente para cada lanceta de introducción con atomización. Es particularmente ventajoso no solo que las lancetas de introducción con atomización individuales se regulen individualmente con respecto a su uso y la presión de introducción con atomización, sino también que la composición de los agentes de reducción inyectados, pueda ser controlados individualmente y adaptados a las condiciones respectivas.
- 25 Aunque se prefiere la capacidad de control individual mencionada anteriormente de todas las lancetas de introducción con atomización en términos de sus parámetros operativos y de la composición de los agentes de reducción según la invención, esto también aumenta el gasto de ingeniería de proceso y, por lo tanto, los costos de la desnitrificación.
- 30 Asimismo, se obtienen muy buenos resultados, pero con un desembolso de ingeniería de proceso significativamente reducido, cuando la composición de los agentes de reducción se establece conjuntamente para todas las lancetas de introducción de con atomización o, al menos, se establece conjuntamente para todos las lancetas de introducción con atomización de un plano de introducción con atomización, pero las lancetas de introducción con atomización individuales pueden regularse individualmente con respecto a la presión de introducción con atomización y las condiciones de funcionamiento o relaciones de funcionamiento.
- 35 A flujos de gas residual relativamente uniformes y/o flujos de gas residual que son según las expectativas, todavía se pueden lograr muy buenos resultados cuando las lancetas de introducción con atomización se controlan en grupos. Aquí, un grupo de lancetas de introducción con atomización es una unidad definida y/o controlable conjuntamente y/o combinada de una pluralidad de lancetas de introducción con atomización.
- 40 En cuanto a las temperaturas en la realización del proceso de la invención, estas pueden variar dentro de un amplio intervalo. Sin embargo, se pueden lograr resultados particularmente buenos en el marco de la presente invención a temperaturas en el intervalo de 750 a 1200°C, en particular de 800 a 1150°C, preferiblemente de 850 a 1100°C. Se obtienen resultados particularmente buenos en estos intervalos de temperatura, cuando se usan soluciones acuosas de amoníaco o urea.
- 45 Del mismo modo, se obtienen resultados particularmente buenos en el marco de la presente invención cuando la introducción de los agentes de reducción en los gases residuales se controla de forma dirigida y flexible.
- Según la invención, la cantidad de los agentes de reducción introducidos en la corriente de gas residual, y/o el punto en el tiempo de introducción de los agentes de reducción en la corriente de gas residual, se controlan mediante determinación de la temperatura del gas residual y/o el contenido de óxido de nitrógeno residual del gas puro obtenido después del tratamiento.
- 50 Aquí, la introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales puede controlarse mediante una evaluación de la señal de carga y/o mediante la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o mediante la comparación de un valor medido para el contenido residuales de óxido de nitrógeno del gas puro obtenido después del tratamiento con un valor de intención prescrito. Además, también es posible determinar la ruptura del amoníaco y del mismo modo tenerlo en cuenta en el control del proceso.
- 55 Para los fines de la presente invención, una señal de carga es la indicación de la carga respectiva a la que se opera un aparato de combustión, por ejemplo, una gran planta de combustión, en particular un recipiente de combustión. La

carga se corresponde con la potencia liberada por el aparato de combustión y generalmente se informa en un porcentaje, con la carga completa (100%) correspondiéndose con la potencia para la cual el aparato de combustión está diseñado con una combustión y carga óptimas.

5 Según la invención, se determina al menos un perfil de temperatura de los gases residuales en forma de uno o más planos, especialmente por medio de la medición acústica y/u óptica de la temperatura, preferiblemente por la medición acústica de la temperatura. La determinación de un perfil de temperatura dependiente de la ubicación y el tiempo de uno o más planos de la corriente de gases residuales permite el control dirigido de las lancetas de introducción con atomización individuales, como resultado de lo cual, en primer lugar, los agentes de reducción pueden usarse de manera efectiva para que la reducción efectiva de los óxidos de nitrógeno tenga lugar y, en segundo lugar, se puede evitar la introducción excesiva de agentes de reducción basado en los óxidos de nitrógeno, lo que conduciría a un aumento de la ruptura del amoníaco.

10 Se ha encontrado que los métodos de medición acústica de la temperatura, en particular la medición acústica de la temperatura del gas, por medio de los cuales se determinan las temperaturas reales del gas en la sección transversal del espacio de combustión o la sección transversal del aparato de tratamiento de los gases residuales cerca de las ubicaciones de introducción con atomización y donde se calculan los perfiles de temperatura, son particularmente útiles en este contexto.

15 Un sistema que se usa preferiblemente según la invención consiste en unidades emisoras y receptoras mecánicamente y eléctricamente similares que están instaladas en las paredes del aparato de tratamiento de los gases residuales inmediatamente aguas abajo del espacio de combustión, en particular el recipiente de combustión, y una unidad de control externa. Cuando se realiza la medición, una válvula (por ejemplo, una válvula magnética) abre una línea de aire comprimido en el lado emisor, generando así señales acústicas. Las señales se graban simultáneamente en los lados emisor y receptor. El tiempo de transmisión del sonido se puede determinar a partir de las señales digitalizadas. Como se conoce la distancia, se obtiene la velocidad del sonido y se usa para calcular una temperatura, conocida como la temperatura de la ruta. Una pluralidad de unidades emisoras/receptoras que actúan en combinación en un plano proporciona configuraciones de rutas múltiples por medio de las cuales la distribución bidimensional de la temperatura en un plano puede determinarse directamente y sin demora.

20 En este contexto, se ha encontrado que es ventajoso que la corriente de gases residuales se divida en secciones sobre la base de las temperaturas medidas de los gases residuales y/o el perfil de temperatura medido de los gases residuales, con lancetas de introducción con atomización individuales definidas y/o grupos definidos de lancetas de introducción con atomización que se asignan a las secciones. Esto asegura que el agente de reducción llegue a los lugares que son más eficaces para una reacción, incluso en el caso de que la temperatura de los gases residuales cambie rápidamente, y la planta siempre funciona en el rango óptimo con respecto al grado de eliminación de óxido de nitrógeno, la ruptura del amoníaco y el consumo de agente de reducción.

25 Según la invención, las lancetas de introducción con atomización están controladas, individualmente o en grupos, sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales. Según una realización preferida de la invención dichas lancetas de introducción con atomización están controladas, individualmente o en grupos, sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales y la señal de carga.

30 También es posible que las relaciones en peso de los agentes de reducción, y/o las concentraciones de las soluciones acuosas de los agentes de reducción se configuren con valores idénticos para todas las lancetas de introducción con atomización y/o se configuren individualmente para cada lanceta, en particular para cada lanceta de introducción con atomización y/o para cada grupo de lancetas de introducción con atomización, preferiblemente para cada lanceta de introducción con atomización. De esta forma se logra una adaptación particularmente flexible y rápida de las mezclas de agentes de reducción a las condiciones de proceso predominantes.

35 En cuanto a la cantidad de agentes de reducción en relación con las cantidades de óxidos de nitrógeno en los gases residuales, esto puede variar dentro de un amplio rango. Sin embargo, se obtienen resultados particularmente buenos según la presente invención cuando los agentes de reducción, o sea el amoníaco y la urea, se introducen en la corriente de gases residuales en cantidades tales que la relación molar, en particular la relación de equivalentes, de los agentes de reducción totales utilizados para los óxidos de nitrógeno a reducir se establezca en un valor en el rango de 1 : 1 a 5 : 1, en particular de 2 : 1 a 4 : 1, preferiblemente aproximadamente de 2,5 : 3,5. La relación de equivalentes se refiere a los equivalentes de amoníaco, a saber, el número de moléculas de amoníaco o radicales libres de NH_2 proporcionados por los agentes de reducción que contienen nitrógeno utilizados. Por lo tanto, una molécula de urea se corresponde con dos equivalentes de amoníaco, ya que una molécula de urea se desintegra en dos radicales NH_2 libres en la termólisis. El proceso de la invención como se indicó anteriormente hace posible una reducción significativamente mejorada de los óxidos de nitrógeno en los gases residuales con una reducción simultánea en las cantidades de agentes de reducción utilizados en comparación con los procesos de la técnica anterior.

40 La presente invención proporciona, además, según un segundo aspecto de la presente invención, un aparato (planta) (1) para eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases residuales de las plantas industriales por medio de la reducción química, configurada para llevar a cabo un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato (1) comprende:

- 5 (a) un reactor (2) para poner en contacto y/o hacer reaccionar al menos dos agentes de reducción diferentes con los gases residuales que contienen óxido de nitrógeno, donde el reactor (2) tiene una pluralidad de lancetas de introducción con atomización (3), configuradas para la introducción con atomización, de soluciones acuosas de amoníaco y urea, donde las lancetas de introducción con atomización (3) pueden regularse individualmente y/o en grupos,
- (b) al menos un primer depósito (6), para almacenar y/o suministrar al menos un primer agente de reducción (4), que se asigna al reactor (2) y se conecta, a través de al menos una línea de alimentación (6A), a las lancetas de introducción con atomización (3), en donde el primer depósito (6) como el primer agente de reducción (4) contiene amoníaco en forma de su solución acuosa, y
- 10 (c) al menos un segundo depósito (7), para almacenar y/o suministrar al menos un segundo agente de reducción (5), que es diferente del primer agente de reducción, que se asigna, al reactor (2) y se conecta, preferiblemente a través de al menos una línea de alimentación (7A), a las lancetas de introducción con atomización (3) en donde el segundo depósito (7) como segundo agente de reducción (5) contiene urea en forma de su solución acuosa,
- 15 en donde la introducción de los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales en puntos diferentes y/o separados físicamente puede controlarse a través de la medición del perfil de temperatura de los gases residuales, en donde el aparato (1) está configurado para controlar la introducción de los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales en puntos diferentes y/o separados físicamente por medio de al menos un dispositivo de medición (13) para medir el perfil de temperatura de los gases residuales
- 20 en donde el dispositivo de medición de la temperatura (13) está configurado para determinar el perfil de temperatura de los gases residuales en la forma de un plano, en donde el aparato (1) está configurado para controlar las lancetas de introducción con atomización (3) individualmente o en grupos, sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales, y en donde el aparato (1) está configurado para controlar la cantidad de los agentes de reducción (4, 5) introducidos en la corriente de gases residuales y/o el punto en el tiempo para introducir los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales por medio de la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o el contenido de óxido de nitrógeno residual del gas puro obtenido después del tratamiento.
- 25 Como se indicó anteriormente en relación con el proceso de la invención, el flujo de salida de los agentes de reducción desde los dispositivos de introducción con atomización, o sea las lancetas de introducción con atomización, es regulado individualmente para cada lanceta de introducción con atomización y/o para grupos de lancetas de introducción con atomización.
- 30 Como también se describió anteriormente en el contexto del proceso de la invención, cada lanceta de introducción con atomización puede tener una o más, en particular de 1 a 20, preferiblemente de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 10, particularmente preferible de 1 a 5, boquillas
- 35 En una realización que se prefiere según la invención, el aparato tiene de 1 a 200, en particular de 2 a 100, preferiblemente de 5 a 60, lancetas de introducción con atomización.
- También se ha encontrado que es ventajoso que las lancetas de introducción con atomización estén dispuestas en de 1 a 10, en particular de 1 a 7, preferiblemente de 1 a 5, planos de introducción con atomización.
- En este contexto, se obtienen resultados particularmente buenos cuando cada plano de introducción con atomización tiene de 1 a 20, en particular de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 12, lancetas de introducción con atomización.
- 40 Como se indicó anteriormente en la descripción del proceso de la invención, las lancetas de introducción con atomización se configuran para la introducción con atomización, de soluciones acuosas de los agentes de reducción, o sea, soluciones de amoníaco acuoso y/o urea.
- 45 En lo que respecta al posicionamiento del aparato de la invención en, por ejemplo, grandes plantas de combustión tales como plantas de incineración de residuos o estaciones de energía térmica combinada, el aparato está ubicado generalmente aguas abajo, en particular directamente aguas abajo, de un aparato de combustión, en particular un recipiente de combustión. Se ha encontrado que es útil para el aparato el que esté dispuesto entre un aparato de combustión y un aparato de intercambio de calor. Esta disposición permite alcanzar las altas temperaturas requeridas para llevar a cabo el proceso de la invención.
- 50 Con respecto a la estructura adicional del aparato de la invención, se puede proporcionar a los fines de la presente invención que el aparato tenga al menos un depósito de agua para almacenar y/o suministrar agua. Aquí, también es posible que el depósito de agua se asigne al reactor, preferiblemente conectado a los dispositivos de introducción atomizados a través de al menos una línea de alimentación.

- Además, es posible que el aparato tenga al menos un depósito de gases para almacenar y/o suministrar opcionalmente gases comprimidos, en particular aire comprimido. Aquí, es posible que el depósito de gases se asigne al reactor, preferiblemente conectado a los dispositivos de introducción con atomización a través de al menos una línea de alimentación. El depósito de agua tiene, en particular, el propósito de mezclar más agua de proceso en los agentes de reducción o las mezclas de agentes de reducción para obtener una concentración ideal de agentes de reducción para la profundidad de penetración respectiva en la corriente de gases de combustión. Como alternativa a un depósito de agua, también es posible que esté presente una línea de agua simple y presurizada. El depósito de gases sirve, en particular, para generar y almacenar la presión requerida para la introducción con atomización.
- Por consiguiente, también es posible, para los fines de la presente invención, que la presurización de las lancetas de introducción con atomización pueda realizarse por medio de los gases almacenados en el depósito de gases, con el fin de descargar los agentes de reducción en el reactor.
- En una realización particular de la presente invención, el aparato de la invención tiene, por lo tanto, al menos un dispositivo de dosificación y/o de mezcla.
- En este contexto, se ha encontrado que es útil y ventajoso que el dispositivo de dosificación y/o de mezcla esté conectado a los depósitos para los agentes de reducción y a las lancetas de introducción con atomización y opcionalmente también al depósito de agua opcionalmente presente.
- Aquí es posible que el dispositivo de dosificación y/o de mezcla se conecte directa o indirectamente, es decir, a través de dispositivos intermedios adicionales o líneas de alimentación, a los dispositivos adicionales. Las relaciones de los agentes de reducción individuales entre sí y las concentraciones de los mismos en la mezcla pulverizada en el reactor pueden así establecerse en el dispositivo de dosificación y/o de mezcla.
- Para los fines de la presente invención, se ha encontrado que es particularmente ventajoso que el dispositivo de dosificación y/o de mezcla esté configurado de manera que las relaciones de peso y/o de volumen de los agentes de reducción entre sí, en particular las relaciones de peso y/o volumen de las mezclas de los agentes de reducción, y/o las concentraciones de las soluciones acuosas de los agentes de reducción, puedan regularse de forma idéntica y/o puedan regularse individualmente para cada individuo, en particular para cada lanceta de introducción con atomización y/o para grupos de lancetas de introducción con atomización, preferiblemente para cada lanceta de introducción con atomización.
- Como se indicó anteriormente en la descripción del proceso de la invención, es posible operar el aparato de la invención a temperaturas en el intervalo de 750 a 1250°C, en particular de 800 a 1150°C, preferiblemente de 850 a 1250°C.
- La introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales se controla mediante la medición del perfil de temperatura de los gases residuales. Además, es posible que la introducción de los agentes de reducción en los gases residuales se controle adicionalmente mediante una señal de carga y/o mediante una comparación entre un valor medido para el contenido residual de óxido de nitrógeno del gas puro obtenido después del tratamiento y un valor previsto prescrito.
- Con respecto al control del proceso de la invención, el aparato se puede configurar para controlar la introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales mediante el al menos un dispositivo de medición de la temperatura para medir el perfil de temperatura de los gases residuales y para medir una señal de carga. Además, el aparato se puede configurar para controlar adicionalmente la introducción del agente de reducción mediante la medición de un valor del contenido residuales de óxido de nitrógeno del gas puro obtenido después del tratamiento.
- En este contexto, se ha encontrado que es particularmente ventajoso que el aparato tenga, en particular aguas arriba de los dispositivos de las lancetas de introducción con atomización, un dispositivo de medición para determinar la temperatura de los gases residuales y/o para medir el perfil de temperatura de los gases residuales, en particular por medio de la medición acústica u óptica de la temperatura, preferiblemente por medio de la medición de la temperatura acústica.
- Para más detalles con respecto al aparato o planta de la invención, se puede hacer referencia a lo que se ha dicho anteriormente con respecto al proceso de la invención, que se aplica de manera análoga al aparato o planta de la invención.
- El proceso de la invención y el aparato o planta de la invención para tratar gases residuales de procesos industriales que contienen óxido de nitrógeno se ilustran a modo de ejemplo y de manera no limitativa en las figuras adjuntas.
- Otras ventajas, propiedades, aspectos y características de la presente invención pueden derivarse de la siguiente descripción de realizaciones que se prefieren según la invención y se muestran en el dibujo.
- La figura única (Figura 1) muestra esquemáticamente el aparato 1 según la invención para llevar a cabo el proceso según la invención.

5 La figura muestra un reactor 2 para llevar a cabo el proceso de la invención para tratar gases residuales de procesos industriales que contienen óxido de nitrógeno. El aparato de la invención se instala habitualmente aguas abajo de una caldera de combustión 8, por ejemplo, la caldera de combustión de una planta de incineración de desechos o una estación combinada de calor y energía, y se ubica directamente aguas arriba de los intercambiadores de calor 9 en los que el calor producido en la combustión se elimina de los gases de combustión y se pasa para una utilización posterior.

10 El reactor 2 tiene una pluralidad de lancetas de introducción con atomización 3 que, en la representación de la figura, están dispuestos por claridad en cinco planos de introducción con atomización. Además, el reactor 2 tiene un sistema para la medición acústica de la temperatura de los gases 13/13A, que está dispuesto directamente aguas arriba de las lancetas de introducción con atomización 3 para la introducción con atomización de los agentes de reducción en la corriente de gases de combustión. Como alternativa, la medición de la temperatura también puede llevarse a cabo entre los planos individuales de introducción con atomización o por medio de una pluralidad de sistemas para la medición acústica de la temperatura de los gases 13/13A. Sobre la base del perfil de temperatura de la corriente de gases residuales determinada por la medición de la temperatura, la composición del agente de reducción introducido en el reactor y la presión de introducción con atomización y el tamaño de la gota pueden ajustarse de forma específica.

15 Los dispositivos de introducción con atomización 3 están conectados a través de una línea de alimentación 11A a un depósito 11 para aire comprimido.

20 Además, los dispositivos de introducción con atomización 3 están conectados a un aparato mezclador 12 que está conectado a través de las líneas de suministro 6A y 7A a los recipientes de almacenaje 6 y 7, respectivamente, que contienen los agentes de reducción 4 (amoníaco) y 5 (urea) en forma de sus soluciones acuosas. Además, el aparato mezclador 12 está conectado a través de la línea de alimentación 10A al depósito 10 para el agua.

25 Sin embargo, como alternativa, también es posible que no solo los recipientes de almacenaje 6 y 7 para el almacenamiento o suministro de los agentes de reducción y el recipiente de almacenaje 10 para el almacenamiento o suministro de agua se conecten al aparato mezclador 12, sino también que el depósito 11 para el suministro de aire comprimido también pueda conectarse al aparato mezclador 12.

30 En una desviación de la figura, el aparato mezclador 12 preferiblemente puede ser conectado no sólo a través de una línea de suministro a las lancetas de introducción con atomización 3, sino también a través de una pluralidad de líneas de suministro, en particular al menos cada plano de introducción con atomización de lancetas de introducción con atomización 3 puede estar conectado a través de al menos una línea de suministro dedicada al aparato mezclador 12. Sin embargo, por razones de claridad, la representación de una pluralidad de líneas de suministro se ha omitido en la figura.

Para los fines del proceso de la invención, se selecciona una configuración de base para la introducción o la adición medida de los agentes de reducción en el reactor 2 preferiblemente en base a la señal de carga del recipiente de combustión.

35 Las relaciones entre sí de las soluciones de amoníaco y de urea se establecen en el aparato mezclador 12 sobre la base del perfil de temperatura de la corriente de los gases de combustión medida por medio de la medición acústica de la temperatura de los gases con la ayuda de los dispositivos de medición 13/13A y la concentración de los agentes de reducción para la introducción en el reactor se determina mediante la adición de agua del proceso.

40 Como una alternativa al esquema representado en la figura, también es posible y preferido según la invención que las relaciones respectivas de la solución de amoníaco a la solución de urea y también la concentración total de la solución de reducción en la solución que se introduce en forma de atomizado en el reactor se ajusten individualmente para cada dispositivo de introducción con atomización.

45 A continuación, se suministra aire comprimido a las lancetas de introducción con atomización respectivas a través de la línea de suministro 11A, por medio de la cual la presión de salida respectiva y, por lo tanto, la profundidad de penetración y el tamaño de gota de la solución del agente de reducción se pueden establecer de manera específica. Como alternativa, también es posible en este caso permitir que la regulación del aire comprimido también se determine junto con la mezcla de los agentes de reducción a través de una medición y un dispositivo de medición.

50 Otras formas de realización, modificaciones, variaciones y características especiales de la presente invención pueden ser fácilmente reconocidas e implementadas por un experto en la materia al leer la descripción, sin salirse del alcance de la presente invención.

La presente invención se ilustrará mediante los siguientes ejemplos, sin restringir la presente invención a los mismos.

Ejemplos:

55 Para ilustrar la eficacia del proceso de la invención y también del aparato de la invención, el tema de la presente invención se ilustrará con la ayuda de los siguientes ejemplos. El proceso se opera según la invención en un aparato como se muestra esquemática e ilustra en la figura única.

La reducción según la invención de los óxidos de nitrógeno en los gases de combustión se demuestra para un recipiente con carbón como combustible de la técnica anterior a plena carga (200 MW). Un aparato según la invención para reducir el contenido de óxido de nitrógeno de los gases de combustión se instala entre el recipiente y los intercambiadores de calor de la planta. El aparato según la invención consiste en un espacio de reacción (reactor) en el que se introduce el amoníaco acuoso (25% en peso de NH₃, basado en el amoníaco acuoso), solución de urea (40% en peso de urea, basado en la solución) y mezclas de los dos líquidos en forma de atomizado a través de 60 lancetas de introducción con atomización distribuidas en 5 planos de introducción con atomización, cada uno con 12 lancetas de introducción con atomización. Se instala un sistema de medición de temperatura acústica directamente aguas arriba del primer plano de introducción con atomización y se hace posible establecer un perfil de temperatura de la corriente de gases de combustión y de esta manera controlar las lancetas de introducción con atomización.

Al comienzo del proceso y también a intervalos regulares durante el curso del proceso, la carga de óxido de nitrógeno del gas bruto, es decir, de gases residuales que aún no han sido tratados, se mide para permitir, en combinación con la señal de carga, un ajuste aproximado del aparato de tratamiento de gases residuales y los parámetros del proceso.

Durante todo el transcurso del proceso, se determinan la carga de óxido de nitrógeno de los gases residuales tratados (es decir, los gases puros) y la adición de amoníaco para permitir un ajuste fino del proceso de la invención o del aparato de la invención.

Se llevan a cabo varios ensayos: en primer lugar, se llevan a cabo dos procesos que no son según la invención y se basan únicamente en el uso de solución de amoníaco o de solución de urea. Posteriormente, los procesos se llevan a cabo según el proceso de la invención usando una combinación de solución de amoníaco y solución de urea. Aquí, las proporciones de solución de amoníaco a solución de urea varían en cada caso dentro de diferentes rangos. En ninguno de los ensayos se mezclan las soluciones acuosas de los agentes de reducción con agua adicional. Los resultados de las ejecuciones del proceso se resumen en la Tabla 1.

Como se puede ver a partir de los datos de la Tabla 1, tanto la introducción única con atomización de urea como la introducción única con atomización de solución de amoníaco dan una reducción en el contenido de óxido de nitrógeno de los gases de residuales que se corresponda con los límites legales actuales. Sin embargo, la introducción única con atomización de amoníaco conduce a un aumento de la ruptura del amoníaco ya que el amoníaco se vaporiza inmediatamente después de salir de las boquillas y, por lo tanto, solo entra parcialmente en contacto con los óxidos de nitrógeno en el intervalo de temperatura deseado. El uso exclusivo de urea da como resultado una mejora significativa (se reduce) en la ruptura del amoníaco, pero conduce a una corrosión notable de los intercambiadores de calor ya que, particularmente a altas cargas del recipiente, la introducción con atomización en la región de los intercambiadores de calor se hace necesaria para disminuir el contenido de óxido de nitrógeno de los gases de combustión al nivel deseado.

En comparación con los procesos antes mencionados, que no son según la invención, las tres ejecuciones del proceso según la invención muestran una eficacia significativa en la purificación de los gases de combustión, es decir, el contenido de óxido de nitrógeno de los gases residuales tratados es significativamente más baja en comparación con los procesos que no son según la invención. Además, la ruptura del amoníaco también se reduce significativamente en los procesos según la invención, y no se observa corrosión en la región de los intercambiadores de calor.

Se obtienen muy buenos resultados cuando la proporción de amoníaco a urea varía en el rango de 1 : 99 a 99 : 1, obteniéndose los mejores resultados cuando la proporción de amoníaco a urea es de 20 : 80 a 80 : 20. En esta proporción e incluso a proporciones de amoníaco/urea de 10 : 90 a 90 : 10, el proceso de la invención proporciona grados de eliminación de óxido de nitrógeno que de otro modo solo se puede lograr cuando se usan procesos catalíticos

Tabla 1

Agente de reducción	Relación de NH ₃ : Urea	NO _x gas crudo mg/m ³ estándar	NO _x gas puro mg/m ³ estándar	dNO _x mg/m ³ estándar	Rotura de NH ₃ mg/m ³ estándar	Corrosión
NH ₃ *	100% de NH ₃	385	195	190	14,3	No
Urea *	100% de urea	390	187	203	8,9	Sí
NH ₃ /urea	1:99 a 99:1	387	123	264	6,2	No
NH ₃ /urea	10:90 a 90:10	382	101	281	5,4	No
NH ₃ /urea	20:80 a 80:20	391	94	297	4,9	No
* no según la invención						

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases residuales de las plantas industriales por medio de la reducción química, en donde al menos dos agentes de reducción diferentes que contienen nitrógeno se introducen en la corriente de los gases residuales que contienen óxido de nitrógeno,
- 5 en donde el amoníaco y la urea en forma de sus soluciones acuosas se usan como diferentes agentes de reducción, en donde los agentes de reducción se introducen en la corriente de los gases residuales en puntos diferentes y/o físicamente separados, en donde los agentes de reducción se introducen en forma con atomizado en la corriente de gases residuales por medio de lancetas de introducción de atomización,
- 10 en donde se determina al menos un perfil de temperatura de los gases residuales en la forma de un plano, en donde las lancetas de introducción con atomización se controlan individualmente o en grupos sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales, y en donde la cantidad de agentes de reducción introducidos en los gases residuales y/o el punto de tiempo de introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales se controla mediante la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o el contenido de óxido de nitrógeno residual del gas puro obtenido después del tratamiento.
- 15
2. El proceso según la reivindicación 1, en donde el proceso se lleva a cabo como una reducción selectiva no catalítica.
3. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los agentes de reducción se introducen en la corriente de gases residuales por medio de lancetas de introducción con atomización, cada lanceta de introducción con atomización tiene una o más, en particular de 1 a 20, preferiblemente de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 10, particularmente preferible de 1 a 5, boquillas para introducir los agentes de reducción en la corriente de gases residuales, particularmente en donde las lancetas de introducción con atomización están dispuestas en de 1 a 10, en particular de 1 a 7, preferiblemente de 1 a 5, planos de introducción con atomización, en particular cada plano de introducción con atomización tiene de 1 a 20, en particular de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 12, lancetas de introducción con atomización.
- 20
- 25
4. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la introducción de los agentes de reducción en la corriente de gases residuales se controla por medio de la evaluación de la señal de carga y/o por medio de la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o por medio de la comparación entre un valor medido para el contenido residual de óxido de nitrógeno del gas puro obtenido después del tratamiento y un valor previsto prescrito.
- 30
5. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la corriente de gases residuales se divide en secciones sobre la base de las temperaturas medidas de los gases residuales y/o el perfil de temperatura medido de los gases residuales, y las lancetas de introducción con atomización individuales definidas y/o grupos definidos de lancetas de introducción con atomización se asignan a las secciones.
- 35
6. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las lancetas de introducción con atomización se controlan sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales y la señal de carga.
7. El proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los agentes de reducción se introducen en la corriente de gases residuales en cantidades tales que la relación molar, en particular la relación de equivalentes, de los agentes de reducción totales utilizados para reducir los óxidos de nitrógeno se establece en el intervalo de 1 : 1 a 5 : 1, en particular de 2 : 1 a 4 : 1, preferiblemente aproximadamente de 2,5 : 3,5.
- 40
8. Un aparato (1) para eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases residuales de las plantas industriales por medio de la reducción química, configurado para llevar a cabo un proceso según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato (1) comprende:
- 45 (a) un reactor (2) para poner en contacto y/o hacer reaccionar al menos dos agentes de reducción diferentes con los gases residuales que contienen óxido de nitrógeno, donde el reactor (2) tiene una pluralidad de lancetas de introducción con atomización (3), configuradas para la introducción en forma de atomizado, de soluciones acuosas de amoníaco y urea, donde las lancetas de introducción con atomización (3) pueden regularse individualmente y/o en grupos,
- 50 (b) al menos un primer depósito (6), para almacenar y/o suministrar al menos un primer agente de reducción (4), que se asigna al reactor (2) y se conecta, a través de al menos una línea de alimentación (6A), a las lancetas de introducción con atomización (3), en donde el primer depósito (6) como el primer agente de reducción (4) contiene amoníaco en forma de su solución acuosa, y

- (c) al menos un segundo depósito (7), para almacenar y/o suministrar al menos un segundo agente de reducción (5), que es diferente del primer agente de reducción, que se asigna, al reactor (2) y se conecta, a través de al menos una línea de alimentación (7A), a las lancetas de introducción con atomización (3), en donde el segundo depósito (7) como el segundo agente de reducción (5) contiene urea en forma de su solución acuosa,
- 5 en donde la introducción de los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales en puntos diferentes y/o separados físicamente puede controlarse a través de la medición del perfil de temperatura de los gases residuales, en donde el aparato (1) está configurado para controlar la introducción de los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales en puntos diferentes y/o separados físicamente por medio de al menos un dispositivo de medición (13) para medir el perfil de temperatura de los gases residuales,
- 10 en donde el dispositivo de medición de la temperatura (13) está configurado para determinar el perfil de temperatura de los gases residuales en la forma de un plano, en donde el aparato (1) está configurado para controlar las lancetas de introducción con atomización (3) individualmente o en grupos, sobre la base del perfil de temperatura medido de los gases residuales, y en donde el aparato (1) está configurado para controlar la cantidad de los agentes de reducción (4, 5) introducidos en la corriente de gases residuales y/o el punto en el tiempo para introducir los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales por medio de la determinación de la temperatura de los gases residuales y/o el contenido de óxido de nitrógeno residual del gas puro obtenido después del tratamiento.
- 15 9. El aparato según la reivindicación 8, en donde el flujo de salida de los agentes de reducción (4, 5) desde las lancetas de introducción con atomización (3) puede regularse individualmente para cada lanceta de introducción con atomización (3) y/o para grupos de lancetas de introducción con atomización (3).
- 20 10. El aparato según la reivindicación 8 o 9, en donde las lancetas de introducción de atomización (3) están dispuestas en de 1 a 10, en particular de 1 a 7, preferiblemente de 1 a 5, planos de introducción de atomización, en particular teniendo cada plano de introducción con atomización de 1 a 20, en particular de 1 a 15, preferiblemente de 1 a 12 lancetas de introducción con atomización (3).
- 25 11. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato (1) tiene al menos un depósito de agua (10) para almacenar y/o suministrar agua, en particular con el depósito de agua (10) siendo asignado al reactor (2) preferiblemente conectado a las lancetas de introducción con atomización (3) a través de al menos una línea de alimentación (10A); y en donde el aparato (1) tiene al menos un depósito de gases (11) para almacenar y/o suministrar opcionalmente gases comprimidos, en particular aire comprimido, en particular con el depósito de gases (11) siendo asignado al reactor (2), preferiblemente conectado a las lancetas de introducción con atomización (3) a través de al menos una línea de alimentación (11A), particularmente en donde la presurización de las lancetas de introducción con atomización (3) a fin de descargar los agentes de reducción (4, 5) en el reactor (2) pueda llevarse a cabo por medio de los gases almacenados en el depósito de gases (11).
- 30 12. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato (1) está configurado para controlar la introducción de los agentes de reducción (4, 5) en la corriente de gases residuales por medio de al menos un dispositivo de medición de la temperatura (13) para medir el perfil de temperatura de los gases residuales y para medir una señal de carga.
- 35

