



(11) **EP 3 832 205 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
09.06.2021 Patentblatt 2021/23

(51) Int Cl.:
F23J 15/02 (2006.01) **F23B 10/02** (2011.01)
F23B 40/02 (2006.01) **F23B 50/12** (2006.01)
F23B 80/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20210898.1**

(22) Anmeldetag: **01.12.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME KH MA MD TN

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
80686 München (DE)

(72) Erfinder: **Aleysa, Mohammadshayesh**
70569 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **03.12.2019 DE 102019218807**

(74) Vertreter: **Friese Goeden Patentanwälte PartGmbB**
Widenmayerstraße 49
80538 München (DE)

(54) **ABGASNACHBEHANDLUNGSEINRICHTUNG, BAUSATZ UND VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG UND FESTSTOFFFEUERUNGSANLAGE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Abgasnachbehandlungseinrichtung (2), aufweisend zumindest einen Strömungspfad (36), welcher von einem ersten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zu einem zweiten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung verläuft, wobei die Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) in zumindest einem Abschnitt aus einer Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3) zusammengesetzt ist, welche

jeweils einen Längsabschnitt der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) bilden und welche jeweils zumindest eine Ausnehmung (35) aufweisen. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Feststofffeuerungsanlage (1) mit einer solchen Abgasnachbehandlungseinrichtung, einen Bausatz zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung und ein Verfahren zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung.

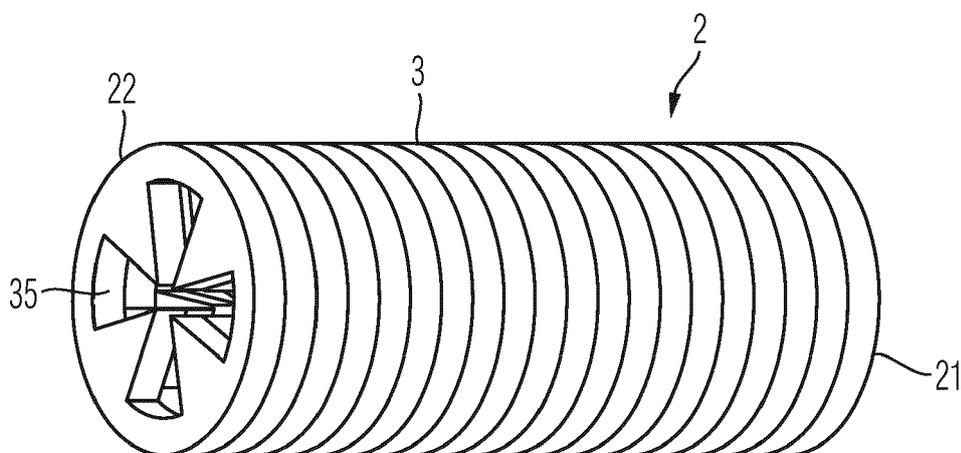


Fig. 2

EP 3 832 205 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Abgasnachbehandlungseinrichtung. Weiterhin betrifft die Erfindung eine mit einer solchen Abgasnachbehandlungseinrichtung ausgestattete Feuerungsanlage, einen Bausatz zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung sowie ein Verfahren zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung. Solche Abgasnachbehandlungseinrichtung können beispielsweise in Feststofffeuerungsanlagen oder Industrieöfen eingesetzt werden.

[0002] Aus der Praxis sind Heizkessel für Festbrennstoffe bekannt, welche eine Zyklonbrennkammer aufweisen. Eine solche Zyklonbrennkammer dient zugleich als Brennkammer und als Feinstaubabscheider. Hierdurch kann einerseits eine effiziente Vermischung von Brenngas und Oxidationsmittel erreicht werden, so dass bei der Verbrennung geringere Schadstoffkonzentrationen entstehen. Darüber hinaus wird eine schnelle Belegung eines Wärmeübertragers mit Feinstaub bzw. Verbrennungssasche vermieden. Hierdurch entsteht ein besserer Wärmeaustausch und ein höherer Kesselwirkungsgrad über eine längere Betriebszeit, ohne notwendige Kesselreinigung durch den Bediener. Die Zyklonbrennkammer gewährleistet dabei gegenüber metallischen oder keramischen Pall-Ringen eine deutliche Verlängerung der Verweilzeit des Brenngases und des Oxidationsmittels in der Brennkammer sowie eine effektive mechanische Abscheidung der Stäube.

[0003] Nachteilig an dieser bekannten Zyklonbrennkammer ist jedoch die unzureichende Reinigungswirkung auf die Abgase. Gefordert ist eine weiter verbesserte Reduktion von gasförmigen Schadstoffen und Feinstäuben im Abgas bei geringem Wartungsaufwand und geringem Bauraum der Abgasnachbehandlungseinrichtung.

[0004] Ausgehend vom Stand der Technik liegt der Erfindung somit die Aufgabe zugrunde, eine Abgasnachbehandlungseinrichtung und ein Verfahren zu ihrer Herstellung anzugeben, welches einfach an unterschiedliche Anforderungen, insbesondere unterschiedliche Leistungsklassen und Brennstoffe anpassbar ist.

[0005] Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Abgasnachbehandlungseinrichtung anzugeben, welche eine verbesserte Minderung von staub- und/oder gasförmigen Emissionen ermöglicht.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß Anspruch 1, eine Feststofffeuerungsanlage nach Anspruch 10, einen Bausatz nach Anspruch 12 und ein Verfahren nach Anspruch 14 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung finden sich in den Unteransprüchen.

[0007] Erfindungsgemäß wird gemäß einer Ausführungsform eine Feuerungseinrichtung vorgeschlagen, welcher ein fester oder flüssiger Brennstoff zugeführt werden kann. Der Brennstoff kann insbesondere ein nachwachsender Rohstoff sein, beispielsweise Scheitholz. Der Brennstoff wird bei Betrieb der Feuerungsein-

richtung mit einem Oxidationsmittel umgesetzt. In einer Ausführungsform der Erfindung kann das dabei entstehende Abgas unmittelbar der vorgeschlagenen Abgasnachbehandlungseinrichtung zugeführt werden.

[0008] In anderen Ausführungsformen weist die Feuerungseinrichtung eine optionale Zyklonbrennkammer auf, welcher ein bei der Pyrolyse des Brennstoffes entstehendes Pyrolysegas und ein Oxidationsmittel zugeführt ist. Innerhalb der Zyklonbrennkammer wird das Pyrolysegas mit dem Oxidationsmittel exotherm umgesetzt, so dass Wärme freigesetzt wird. Diese Wärme kann nachfolgend an einen Wärmetauscher abgegeben werden, um auf diese Weise ein Wärmeträgermedium zu erwärmen. Das Wärmeträgermedium kann dazu eingesetzt werden, Wärme zu einem Wärmeverbraucher zu transportieren. Der Wärmeverbraucher kann beispielsweise die Raumheizung eines Gebäudes sein. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Wärme für Trocknungsprozesse in der industriellen Fertigung oder der Landwirtschaft verwendet werden.

[0009] Das der Zyklonbrennkammer zugeführte Oxidationsmittel kann in einigen Ausführungsformen der Erfindung Umgebungsluft sein oder Umgebungsluft enthalten. In einigen Ausführungsformen kann das Oxidationsmittel Ozon (O₃) oder Sauerstoffradikale (O) enthalten. Das Pyrolysegas kann beispielsweise aus der Pyrolyse eines Festbrennstoffes erhalten werden, beispielsweise Scheitholz, Holzpellets, landwirtschaftliche Produktionsabfälle, Tierdung, organische Abfallstoffe oder andere, hier nicht genannte Medien. Durch die Pyrolyse der genannten Medien in einer sauerstoffarmen Atmosphäre wird ein brennbares Pyrolysegas erhalten, welches insbesondere Kohlenstoff, Kohlenmonoxid, Wasserstoff und/oder Kohlenwasserstoffe enthält oder daraus besteht.

[0010] Das Pyrolysegas und das Oxidationsmittel werden der Zyklonbrennkammer an einem Ende zugeführt. Durch die Form der Zyklonbrennkammer können Turbulenzen entstehen, welche zur intensiven Durchmischung des Pyrolysegases und des Oxidationsmittels führen. Hierdurch kann vermieden werden, dass durch unvollständige Oxidation beim Abbrand eine hohe Schadstoffkonzentration entsteht. Die in der Zyklonbrennkammer entstehenden Turbulenzen können weiterhin bewirken, dass Feinstäube, insbesondere Ruß, fein dispergiert und dadurch oxidiert werden. Alternativ oder zusätzlich können Feinstäube und Asche an den Wänden der Zyklonbrennkammer abgeschieden werden, so dass diese im Rahmen der Wartung oder des Austausches der Zyklonbrennkammer einfach entfernt werden können und nachfolgende Komponenten einer Feuerungsanlage nicht verschmutzen.

[0011] Erfindungsgemäß wird nun vorgeschlagen, dass aus der Zyklonbrennkammer austretende Abgas bzw. das aus der unmittelbaren Verbrennung des Brennstoffes entstehende Abgas einer Abgasnachbehandlungseinrichtung zuzuführen, welche eine weitere Reduktion der gasförmigen Schadstoffe und/oder der Fein-

stäube ermöglicht. Die Abgasnachbehandlungseinrichtung enthält einen Strömungspfad, welcher bei Betrieb der Abgasnachbehandlungseinrichtung vom Abgas von einem ersten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zu einem zweiten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung durchströmt wird. Die Abgasnachbehandlungseinrichtung ist in zumindest einem Längsabschnitt aus einer Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen zusammengesetzt, welche jeweils einen Längsabschnitt der Abgasnachbehandlungseinrichtung bilden und welche jeweils zumindest eine Ausnehmung aufweisen. Die scheibenförmigen Elemente können in unterschiedlicher Form und Größe vorhanden sein, so dass durch Übereinanderstapeln einer bestimmten Anzahl von Elementen und/oder durch Auswahl von Elementen mit unterschiedlichen Ausnehmungen und/oder durch Wahl der relativen Ausrichtung der scheibenförmigen Elemente zueinander unterschiedliche Abgasnachbehandlungseinrichtungen einfach zusammengesetzt werden können. Gleichzeitig ist die Lagerhaltung stark vereinfacht, da eine geringere Anzahl unterschiedlicher scheibenförmiger Elemente zu einer großen Vielzahl von unterschiedlichen Abgasnachbehandlungseinrichtungen für unterschiedliche Anwendungen führen kann. Die in den scheibenförmigen Elementen angeordnete Ausnehmung kann in allen scheibenförmigen Elementen identisch sein. Sofern die Ausnehmung zumindest teilweise außermittig in den scheibenförmigen Elementen angeordnet ist, kann durch Verdrehen der scheibenförmigen Elemente ein nicht-geradliniger Strömungspfad durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung realisiert oder Prallflächen in den Strömungspfad eingebracht werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die Ausnehmungen und die Ausrichtung identisch sein, so dass sich der Querschnitt über die Länge der Abgasnachbehandlungseinrichtung nicht ändert. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können an einem Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung kleinere Ausnehmungen in den scheibenförmigen Elementen angeordnet sein wie am anderen Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung. Hierdurch kann der Querschnitt variabel gestaltet sein, insbesondere stetig zunehmend oder stetig abnehmend.

[0012] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Ausnehmung so gestaltet sein, dass ausgehend vom Mittelpunkt des scheibenförmigen Elementes unter einem vorgebbaren Radius unter einem ersten Winkel ein offener Flächenbereich vorhanden ist und unter einem zweiten Winkel ein geschlossener Flächenbereich vorhanden ist. In Polarkoordinaten wechseln sich somit offene und geschlossene Flächenbereich in Abhängigkeit der Winkelkoordinate bei konstantem Radius ab. Dieses Merkmal hat die Wirkung, dass durch Änderung der Orientierung der scheibenförmigen Elemente innerhalb des die Abgasnachbehandlungseinrichtung bildenden Stapels in einfacher Weise nicht lineare, beispielsweise schraubenförmige oder gewendelte Strömungs-

pfade realisiert werden können, wenn die Ausnehmungen der scheibenförmigen Elemente nicht exakt übereinander positioniert werden, sondern um einen vorgebbaren Winkelbereich versetzt. An den so entstehenden Stufen innerhalb des Strömungspfades können Mikroturbulenzen auftreten, welche die Durchmischung des Abgases und/oder die Feinstaubabscheidung und/oder die Feinstaugglomeration verbessern können.

[0013] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Ausnehmung ausgehend vom Mittelpunkt des scheibenförmigen Elementes zumindest eine Teilfläche aufweisen, welche sich radial nach außen erstreckt und welche einen Öffnungswinkel von etwa 10° bis etwa 50° aufweist. Solche, nach Art eines Tortenstücks gestaltete Ausnehmungen lassen sich ebenfalls durch nachfolgende scheibenförmige Elemente zumindest teilweise verlegen, so dass die Fläche eines Strömungskanals nicht linear ausgebildet werden kann, beispielsweise oszillierend oder schraubenförmig bzw. gewendelt. Ein solcher Strömungskanal kann zur zusätzlichen Ausbildung einer Turbulenz beitragen, so dass die Durchmischung von Pyrolysegas und Oxidationsmittel verbessert ist.

[0014] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Ausnehmung einen Flächenanteil von etwa 25 % bis etwa 50 % der Gesamtfläche des scheibenförmigen Elementes aufweisen. Dies ermöglicht einerseits eine kompakte Bauweise und andererseits einen hinreichenden Innenquerschnitt der Abgasnachbehandlungseinrichtung.

[0015] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können benachbarte scheibenförmige Elemente aus der Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen um einen vorgebbaren Winkel zueinander verdreht angeordnet sein. Der vorgebbare Winkel kann in einigen Ausführungsformen der Erfindung zwischen etwa 5° und etwa 30° oder zwischen etwa 10° und etwa 25° betragen. Wie bereits dargelegt, führt eine solche Ausführungsform zu einem nicht linearen Strömungspfad innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung, was zu einer längeren Verweildauer des Pyrolysegases und des Oxidationsmittels beiträgt. Durch die längere Verweildauer kann vermieden werden, dass durch nur teilweise Oxidation hohe Schadstoffkonzentrationen beim Abbrand auftreten.

[0016] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente eine Außenkontur aufweisen, welche rund ist. Die scheibenförmigen Elemente weisen somit eine in etwa zylindrische Außenform auf. Hierdurch können die scheibenförmigen Elemente in einfacher Weise unter unterschiedlichen Winkelorientierungen zueinander aufeinandergestapelt werden, ohne dass die Außenkontur von einer Zylinderform abweicht. Dies erleichtert den Einbau der Abgasnachbehandlungseinrichtung in einem Gerät, insbesondere in einer Feststofffeuerungsanlage.

[0017] In anderen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente eine Außenkontur aufweisen, welche polygonal ist. Eine polygonale Außenkontur kann in einigen Ausführungsformen der Erfin-

dung achteckig, sechseckig oder viereckig, insbesondere quadratisch sein. Hierdurch weist die Abgasnachbehandlungseinrichtung eine quaderförmige Außenkontur auf, welches einen einfachen Einbau in ein Gerät erlaubt, beispielsweise eine Feststofffeuerungsanlage. Darüber hinaus werden Fehler beim Zusammenbau vermieden, da die Orientierung der scheibenförmigen Elemente durch ihre Außenkontur fest vorgegeben ist. In diesem Fall können die Ausnehmungen in den scheibenförmigen Elementen relativ zur Außenkontur unterschiedlich orientiert sein. Die scheibenförmigen Elemente können mit einer fortlaufenden Nummerierung versehen sein, so dass durch einfaches aufeinanderstapeln in der richtigen Reihenfolge eine Abgasnachbehandlungseinrichtung mit dem gewünschten Innenquerschnitt in Form und Durchmesser erhalten wird. Fehler beim Zusammenbau, wie diese beim Stapeln zylinderförmiger Elemente entstehen können, werden dadurch vermieden.

[0018] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente zumindest ein Verbindungselement enthalten. Ein solches Verbindungselement kann beispielsweise ein Zapfen sein oder einen solchen Zapfen enthalten, welcher in eine zugeordnete Bohrung eines benachbarten scheibenförmigen Elementes eingreift. Ein solches Verbindungselement kann den Zusammenbau vereinfachen, die mechanische Stabilität der Abgasnachbehandlungseinrichtung erhöhen und Montagefehler vermeiden.

[0019] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann der Flächeninhalt der Ausnehmungen der scheibenförmigen Elemente vom ersten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zum zweiten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zunehmen. Dies ermöglicht die Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung, welche vom ersten Ende zum zweiten Ende einen sich vergrößernden Querschnitt aufweist, dadurch kann der mit zunehmender Umsetzung zunehmenden Gasmenge Rechnung getragen werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Abgasnachbehandlungseinrichtung einen nach Art einer Laval-Düse zunehmenden Querschnitt aufweisen, so dass die Strömungsgeschwindigkeit vom ersten Ende zum zweiten Ende zunimmt.

[0020] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die Ausnehmungen der scheibenförmigen Elemente vom ersten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zum zweiten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung einen gewendelten Pfad ausbilden. Hierdurch kann bei unveränderten Außenmaßen die Weglänge des Pyrolysegases innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung vergrößert werden, was aufgrund längerer Verweilzeiten zu einer verbesserten Umsetzung des Pyrolysegases führen kann. Dies kann den Schadstoffausstoß reduzieren und die Wärmeausbeute vergrößern.

[0021] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente aus einem Metall oder einer Legierung bestehen. Diese Materialien

zeichnen sich durch vergleichsweise große spezifische Wärmekapazität sowie hohe thermische und mechanische Stabilität aus. Hierdurch werden eine starke Wärmestrahlung und Wärmeabgabe während des Betriebes gewährleistet, so dass die Oxidation des Pyrolysegases gewährleistet werden kann.

[0022] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente stoffschlüssig gefügt sein, beispielsweise durch Sintern und/oder Schweißen und/oder Kleben.

[0023] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente aus einem anorganischen nichtmetallischen Werkstoff bestehen. Ein anorganischer nichtmetallischer Werkstoff kann insbesondere eine Keramik enthalten oder daraus bestehen, beispielsweise eine Oxidkeramik oder ein Karbid oder ein Nitrid oder ein Oxinitrid. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann Siliziumdioxid und/oder Aluminiumoxid und/oder Magnesiumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Zirkoniumoxid und/oder Chromoxid und/oder Siliziumkarbid Verwendung finden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung können diese Materialien eine katalytische Wirkung haben, so dass die Abbrandtemperatur für Feinstaub, insbesondere Ruß und/oder gasförmige Bestandteile des Pyrolysegases sinkt. Somit kann der Schadstoffgehalt auch bei geringen Brenntemperaturen niedrig gehalten werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Oberfläche einer Keramik porös sein oder adhäsive Eigenschaften aufweisen, so dass eine effektive Feinstaubbindung ermöglicht wird.

[0024] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann organischer Feinstaub in Betriebszuständen mit niedriger Abgastemperatur an den Wänden der Abgasnachbehandlungseinrichtung gebunden werden und in Betriebszuständen mit hoher Abgastemperatur oxidiert werden. Unter einer niedrigen Abgastemperatur wird in diesem Zusammenhang eine Abgastemperatur unterhalb 450°C oder unterhalb 500°C verstanden. Unter einer hohen Abgastemperatur wird in diesem Zusammenhang eine Abgastemperatur oberhalb 500°C oder oberhalb 520°C verstanden.

[0025] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können anorganische Feinstäube an den Wänden der Abgasnachbehandlungseinrichtung gebunden werden bzw. Agglomerate bilden. Diese Agglomerate können geschlossene Schichten bzw. Krusten bilden, welche sich bei Überschreiten einer bestimmten Schichtdicke aufgrund innerer Spannungen von den Wänden der Abgasnachbehandlungseinrichtung ablösen. Diese können nachfolgend über eine Revisionsöffnung oder über den Brennraum bzw. den Aschekasten entfernt werden.

[0026] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente jeweils zwischen einer und etwa 30 Ausnehmungen aufweisen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine Ausnehmung so in dem scheibenförmigen Element angeordnet sein, dass die Mittelpunkte des scheibenförmigen

gen Elementes und der Ausnehmung zusammenfallen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können mehrere scheibenförmige Elemente so ausgestaltet sein, dass diese jeweils eine identische Zahl von Ausnehmungen haben, deren Mittelpunkte an den gleichen Stellen der jeweiligen Scheiben angeordnet sind und welche in unterschiedlichen Scheiben eine unterschiedliche Winkelorientierung aufweisen.

[0027] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Abgasnachbehandlungseinrichtung und/oder eine damit ausgestattete Feststofffeuerungsanlage zumindest eine Sprühelektrode enthalten, welche dazu eingerichtet ist, in zumindest einem Teilabschnitt ein elektrisches Feld zu erzeugen. Bei Betrieb der Feststofffeuerungsanlage kann das elektrische Feld unterhalb der Durchbruchfeldstärke gewählt sein und beispielsweise weniger als 1 kV/mm oder weniger als 0,7 kV/mm oder weniger als 0,6 kV/mm betragen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann das elektrische Feld größer sein als etwa 0,4 kV/mm. Die umgesetzte elektrische Leistung kann zwischen etwa 15 W und etwa 35 W betragen. Durch den Einbau der Sprühelektrode in die Abgasnachbehandlungseinrichtung wird die Einwirkung von Ruß- oder Teerablagerungen zumindest reduziert, so dass das Wartungsintervall verlängert sein kann.

[0028] Das elektrische Feld bewirkt eine Agglomeration von Feinstaub, so dass die dann größeren Staubpartikel einfacher an den Wänden der Abgasnachbehandlungseinrichtung oder einem optionalen Filterelement zurückgehalten werden können. Darüber hinaus kann das elektrische Feld Sauerstoffradikale und/oder Ozon erzeugen, so dass die Oxidation organischer Bestandteile des Abgases oder entstehender Stäube einfacher, insbesondere bei niedrigeren Temperaturen erfolgen kann.

[0029] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Abgasnachbehandlungseinrichtung und/oder eine damit ausgestattete Feststofffeuerungsanlage zumindest eine Elektrode oder ein Elektrodenpaar enthalten, welches dazu eingerichtet ist, eine dielektisch behinderte Entladung (DBE) zu ermöglichen. Hierzu kann im Entladungsspalt ein Dielektrikum angeordnet sein, welches in einigen Ausführungsformen der Erfindung ausgewählt ist aus einer Keramik oder Porzellan. Hierdurch können Ozon und/oder atomarer Sauerstoff mit hoher Effizienz aus Umgebungsluft erzeugt werden.

[0030] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Entladung entweder in Form vieler Filamente oder als homogene Entladung ausgebildet sein, so dass sich die Entladung über das gesamte Entladungsvolumen oder einen Großteil des Volumens erstreckt. Die DBE hat die Wirkung, dass näherungsweise nur Elektronen beschleunigt werden, da die Entladungsdauer so gering ist, dass die schwereren Ionen, bedingt durch ihre Massenträgheit, nur wenig Impuls aufnehmen. Die Entladung erlischt, sobald das angelegte elektrische Feld von der vor dem Dielektrikum angesammelten elektrischen Ladung kompensiert wird. Die Zeitdauer einer Ent-

ladung kann im Bereich von einigen Nanosekunden liegen.

[0031] Zur Erzeugung einer DBE ist eine gepulste Anregung bzw. Das gepulste Anlegen einer Betriebsspannung an die zumindest eine Elektrode vorteilhaft. Die DBE kann mit uni- oder bipolaren Pulsen mit Pulsdauern von etwa 1 bis etwa 10 μ s oder von etwa 20 ns bis etwa 900 ns betrieben werden. In einigen Ausführungsformen kann die Amplitude der Betriebsspannung zwischen etwa 2 kV und etwa 10 kV betragen. Das Puls-Pausenverhältnis kann kleiner als etwa 20% oder kleiner als etwa 15% oder kleiner als etwa 10% sein.

[0032] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die scheibenförmigen Elemente der Abgasnachbehandlungseinrichtung aus einem Material mit einer Wärmekapazität von etwa 0,55 kJ/(kg·K) bis etwa 1,2 kJ/(kg·K) bestehen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Abgasnachbehandlungseinrichtung eine Masse von etwa 15 kg bis etwa 50 kg oder von etwa 20 kg bis etwa 40 kg aufweisen. Dies ermöglicht es, bei Temperaturen zwischen 490°C und 520°C eine Wärmemenge zu speichern, welche zumindest der bei der Verbrennung von etwa 0,75 kg bis etwa 1,1 kg Holz freiwerdenden Wärme entspricht. Dies erlaubt eine gleichbleibend schadstoffarme Verbrennung, auch wenn die Brenntemperatur vorübergehend absinkt.

[0033] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Länge der Abgasnachbehandlungseinrichtung bzw. die Länge des gewendelten Pfades so gewählt sein, dass die Durchströmzeit des Pyrolysegases zumindest zwischen etwa 1,2 s und etwa 1,8 s beträgt. Dies ermöglicht eine effiziente Abgasnachbehandlung mit gutem Wirkungsgrad und geringem Schadstoffausstoß.

[0034] Nachfolgend soll die Erfindung ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Figuren näher erläutert werden. Dabei zeigt

Fig. 1 eine Feststofffeuerungsanlage gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt eine Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform in einer ersten Ansicht.

Fig. 3 zeigt die Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß der ersten Ausführungsform in einer zweiten Ansicht.

Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch eine Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 5 zeigt die Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß der ersten Ausführungsform in einer dritten Ansicht.

Fig. 6 verdeutlicht den Strömungspfad innerhalb der

Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 7 zeigt ein scheibenförmiges Element gemäß einer ersten Ausführungsform in einer ersten Ansicht.

Fig. 8 zeigt das scheibenförmige Element gemäß der ersten Ausführungsform in einer zweiten Ansicht.

Fig. 9 zeigt ein scheibenförmiges Element gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 10 zeigt ein scheibenförmiges Element gemäß einer dritten Ausführungsform.

Fig. 11 zeigt eine Feststofffeuerungsanlage gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 12 zeigt eine Feststofffeuerungsanlage gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 13 zeigt eine genauere Ansicht eines Bauteils der Feststofffeuerungsanlage gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 14 zeigt einen Abschnitt einer Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 15 zeigt einen Abschnitt einer Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform

[0035] Anhand der Fig. 1 wird eine Feststofffeuerungsanlage gemäß der vorliegenden Erfindung näher erläutert.

[0036] Die Feststofffeuerungsanlage 1 enthält ein Gehäuse 10, welches aus einem feuerresistenten Material gefertigt ist, beispielsweise einem Metall oder einer Legierung. Fallweise können die Wandungen des Gehäuses 10 auch mehrlagig ausgeführt sein und beispielsweise eine Wärmedämmung enthalten.

[0037] Durch Innenwände ist das Gehäuse 10 in eine erste Kammer 11, eine zweite Kammer 12 und eine dritte Kammer 13 unterteilt. Im Bodenbereich der jeweiligen Kammern befinden sich zugeordnete Ascheabfuhrsysteme 111, 121 und 131 in Form jeweils einer Förderschnecke. Diese sind jedoch optional und können in anderen Ausführungsformen der Erfindung auch entfallen.

[0038] Die erste Kammer 11 ist als Pyrolysekammer ausgelegt. In der ersten Kammer 11 befindet sich daher ein Feuerrost 112 sowie eine Beschickungseinrichtung 15, durch welche fester Brennstoff, wie beispielsweise Holzpellets, zugeführt werden kann. In anderen Ausführungs-

formen der Erfindung kann selbstverständlich auch Scheitholz, Biomasse oder jeder andere feste Brennstoff Verwendung finden. In diesen Fällen kann die Beschickungseinrichtung 15 eine andere Bauform annehmen oder auch entfallen.

[0039] In der ersten Kammer 11 wird der zugeführte Brennstoff pyrolysiert, wobei ein Pyrolysegas entsteht. Das Pyrolysegas kann Kohlenstoff und/oder Kohlenmonoxid und/oder Wasserstoff und/oder Kohlenwasserstoffe enthalten oder daraus bestehen. Dieses Pyrolysegas wird durch den Gaseinlass 115 in die zweite Kammer geleitet.

[0040] Die zweite Kammer 12 enthält eine Zyklonbrennkammer 125 sowie eine Abgasnachbehandlungseinrichtung 2. In der Zyklonbrennkammer 125 wird das Pyrolysegas mit einem Oxidationsmittel, insbesondere Umgebungsluft, umgesetzt. Das entstehende Abgas wird in die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 geleitet. Nach Durchtritt durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 wird das so gereinigte Abgas teilweise über eine Abgasleitung 122 in die erste Kammer 11 zurückgeleitet und dient dort der Pyrolyse des Brennstoffes. Ein anderer Teil des Abgases wird in die dritte Kammer 13 geleitet, welche einen Wärmetauscher 132 enthält. Dort wird die im Abgas enthaltene Wärme an ein flüssiges oder gasförmiges Wärmeträgermedium abgeführt und zum Ort ihrer Verwendung transportiert.

[0041] Ein optionales Saugzuggebläse 135 dient der Aufrechterhaltung des Abgasstromes durch die zweite Kammer 12 und die dritte Kammer 13.

[0042] Es sei darauf hingewiesen, dass die dargestellte Feststofffeuerungsanlage 1 lediglich beispielhaft zu verstehen ist. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Feststofffeuerungsanlage auch eine andere Bauform annehmen, so dass einige der genannten Bauteile anders ausgeführt sein können oder auch entfallen. Die Erfindung lehrt nicht die Verwendung einer bestimmten Feststofffeuerungsanlage als Lösungsprinzip. Vielmehr bezieht sich die Erfindung primär auf die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2, welche in Ausführungsbeispielen nachfolgend anhand der Figuren 2 bis 6 und 14 bis 15 näher erläutert wird.

[0043] Fig. 2 zeigt eine axonometrische Darstellung der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2, Fig. 3 zeigt eine Ansicht und Fig. 5 zeigt eine Aufsicht. In Fig. 4 ist ein Schnitt durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung entlang der Linie A-A dargestellt, wie in Fig. 3 ersichtlich ist. Fig. 6 zeigt eine axonometrische Schnittdarstellung, wobei der gewendelte Pfad durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung hervorgehoben ist.

[0044] Wie aus den Figuren ersichtlich ist, ist die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 aus einer Mehrzahl scheibenförmiger Elemente 3 zusammengesetzt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind 20 scheibenförmige Elemente vorhanden. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Anzahl der scheibenförmigen Elemente 3 größer oder geringer sein und beispielsweise zwischen etwa 5 und etwa 100 oder zwischen etwa 10

und etwa 50 oder zwischen etwa 15 und etwa 40 oder zwischen etwa 5 und etwa 25 betragen.

[0045] Die scheibenförmigen Elemente können eine Dicke von etwa 10 mm bis etwa 100 mm oder von etwa 10 mm bis etwa 50 mm aufweisen. Der Durchmesser der im dargestellten Ausführungsbeispiel dargestellten kreisförmigen Elemente kann in einigen Ausführungsformen der Erfindung zwischen etwa 70 mm und etwa 500 mm oder zwischen etwa 100 mm und etwa 400 mm betragen.

[0046] Wie aus Fig. 2 und Fig. 5 ersichtlich ist, enthält jedes scheibenförmige Element 3 eine Ausnehmung 35, welche in etwa die Form eines vierblättrigen Kleeblattes hat, d.h. ausgehend von einem im Mittelpunkt 33 des scheibenförmigen Elementes angeordneten, etwa kreisförmigen Zentralbereichs erstreckt sich die Ausnehmung 35 in vier, in radialer Richtung äquidistanten Teilflächen radial nach außen. Beschreibt man die Ausnehmung in Polarkoordinaten mit einem Koordinatenursprung im Mittelpunkt 33 des scheibenförmigen Elementes, so gibt es unter einem vorgebbaren Radius r unter unterschiedlichen Werten der Winkelkoordinate sowohl offene Flächenbereiche bzw. Teilflächen der Ausnehmung 35 als auch geschlossene Flächenbereiche des scheibenförmigen Elementes 3.

[0047] Wie in den Figuren 4, 5 und 6 ersichtlich ist, sind die scheibenförmigen Elemente 3 in unterschiedlicher Ausrichtung zueinander innerhalb des die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 bildenden Stapels übereinandergelegt. Die Ausnehmung 35 eines scheibenförmigen Elementes 3 ist somit durch eine Teilfläche des darüberliegenden scheibenförmigen Elementes teilweise verdeckt. Die Ausnehmungen 35 der scheibenförmigen Elemente 3 bilden somit vom ersten Ende 21 der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 zum zweiten Ende 22 der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 einen gewendelten Pfad 36 aus. Dies kann zu einer längeren Verweildauer des Pyrolysegases führen, so dass eine verbesserte Umsetzung mit dem Oxidationsmittel erfolgt. Weiterhin kann die Strömung durch die Form der Brennkammer auf eine Kreisbahn beschleunigt werden, so dass Feinstaub, Ruß und Ascheteilchen nach außen getragen werden und im Inneren der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 abgeschieden werden. Dies kann das Verstopfen des Wärmetauschers einer Feststofffeue-
rungsanlage vermeiden oder reduzieren.

[0048] Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Querschnitt des Strömungspfad innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 vom ersten Ende 21 und zweiten Ende 22 konstant. Dies bedeutet, dass die scheibenförmigen Elemente 3 sämtlich eine identische Form und Größe aufweisen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können unterschiedliche scheibenförmige Elemente 3 verwendet werden, so dass der Querschnitt des Strömungspfad 36 vom ersten Ende 21 zum zweiten Ende 22 hin variabel ist. Beispielsweise kann der Querschnitt vom ersten Ende 21 zum zweiten Ende 22 hin zunehmen.

[0049] Anhand der Fig. 7 wird nochmals die Form der Ausnehmung 35 erläutert. Die Beschreibung der Ausnehmung 35 erfolgt in Polarkoordinaten, wobei der Koordinatenursprung am Mittelpunkt 33 des scheibenförmigen Elementes 3 gewählt ist. Bei einem vorgebbaren Radius liegt somit eine erste Teilfläche 31 unter einem vorgebbaren Winkel α im Inneren der Ausnehmung 35. Dies bedeutet, dass die erste Teilfläche 31 materialfrei ist. Unter einem zweiten Winkel β , welcher im dargestellten Ausführungsbeispiel etwa 90° beträgt, sind zweite Teilflächen 32 ausgebildet, welche geschlossen sind.

[0050] Dieses anhand von Fig. 7 erläuterte Prinzip kann für verschiedene Winkel und Radien fortgeführt werden, so dass die in Fig. 7 gezeigte Form der Ausnehmung beschrieben werden kann. Wesentlich für die beschriebene erste Ausführungsform der Erfindung ist, dass die Ausnehmung 35 zumindest teilweise außermittig in dem scheibenförmigen Element 3 angeordnet ist, so dass durch unterschiedliche Winkelorientierung des scheibenförmigen Elementes 3 die Ausnehmungen 35 versetzt übereinander zu liegen kommen und den in Fig. 6 dargestellten gewendelten Pfad 36 ausbilden. Die konkrete Form und Größe der Ausnehmung 35 kann selbstverständlich in anderen Ausführungen der Erfindung auch anders gewählt sein.

[0051] Dieser Sachverhalt wird nochmals anhand der Fig. 8 erläutert, welche die Ausnehmung 35 darstellt, welche ausgehend vom Mittelpunkt 33 des scheibenförmigen Elementes 3 zumindest eine Teilfläche 34 aufweist, welche sich radial nach außen erstreckt und einen Öffnungswinkel γ vom etwa 10° bis etwa 50° aufweist. Die in Fig. 8 dargestellte Begrenzungslinie 341 und die weiteren Kanten der Ausnehmung 35 bzw. der sich radial nach außen erstreckenden Teilfläche 34 müssen nicht zwingend wie in Fig. 8 dargestellt, geradlinig verlaufen. Andere Ausführungsformen der Erfindung können auch konkav oder konvex gekrümmte Begrenzungslinien vorliegen.

[0052] Die anhand der Figuren 2 bis 8 dargestellten scheibenförmigen Elemente 3 weisen eine etwa kreisrunde Außenkontur 39 auf. Dies ermöglicht es, in Abhängigkeit der Länge der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 die gewünschte Anzahl an scheibenförmigen Elementen in beliebiger Winkelbeziehung zueinander übereinander zu stapeln. Jedes der scheibenförmigen Elemente 3 kann somit etwa 1° bis etwa 30° oder etwa 5° bis etwa 15° relativ zum vorhergehenden scheibenförmigen Element 3 aufgesetzt werden, um die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 zu bilden.

[0053] Anhand der Fig. 9 und 10 werden scheibenförmige Elemente 3 gemäß einer zweiten Ausführungsform dargestellt. Diese weisen eine quadratische Außenkontur 39 auf. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann die Außenkontur selbstverständlich auch eine andere polygonale Form aufweisen.

[0054] Wie bereits anhand der vorstehenden Ausführungsform erläutert, weisen die scheibenförmigen Elemente gemäß Fig. 9 und 10 eine Ausnehmung 35 auf,

welche punktsymmetrisch zum Mittelpunkt 33 ausgerichtet ist. Die in den Fig. 9 und 10 dargestellten Ausführungsformen des scheibenförmigen Elementes 3 weisen jedoch Ausnehmungen 35 auf, welche zwar eine identische Form und Größe aufweisen, jedoch relativ zur Außenkontur 39 eine unterschiedliche Orientierung annehmen. Dies ermöglicht es, beim Stapeln der scheibenförmigen Elemente 3 zum Aufbau einer Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 die scheibenförmigen Elemente 3 entlang ihrer Außenkonturen auszurichten. Aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung der Ausnehmungen 35 sind diese gleichwohl auch bei identischer Orientierung der Außenkontur 39 um einen bestimmten Winkel zueinander verdreht innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 angeordnet, so dass sich der aus Fig. 6 ersichtliche gewendelte Pfad 36 ergibt.

[0055] Zum Aufbau größerer Abgasnachbehandlungseinrichtungen 2 können auch mehrere unterschiedliche scheibenförmige Elemente 3 Verwendung finden, bei welchen die Ausnehmungen 35 um etwa 1° bis etwa 30° oder um etwa 5° bis etwa 15° relativ zur polygonalen Außenkontur 39 angeordnet sind. Die Erfindung lehrt nicht die Verwendung von genau 2 unterschiedlichen scheibenförmigen Elementen 3 als Lösungsprinzip.

[0056] Anhand der Figur 11 wird eine Feststofffeuerungsanlage gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert. Gleiche Bestandteile der Erfindung sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass sich die nachfolgende Beschreibung auf die wesentlichen Unterschiede beschränkt.

[0057] Auch die Feststofffeuerungsanlage gemäß der zweiten Ausführungsform enthält ein Gehäuse 10, welches aus einem feuerresistenten Material, wie beispielsweise Stahlblech, gefertigt sein kann. Teilflächen der Wandung können doppelwandig ausgeführt werden, wobei der Zwischenraum durch Luftströmung und/oder Dämmmaterial wie Mineralwolle oder Vermiculit gedämmt werden kann.

[0058] Wie die Schnittdarstellung der zweiten Ausführungsform zeigt, entfallen bei der zweiten Ausführungsform die in der ersten Ausführungsform vorhandenen Innenwände, welche das Gehäuse in eine Mehrzahl von Kammern unterteilen. Vielmehr ist die einzige Kammer des Gehäuses 10 als Feuerraum ausgebildet, welcher durch eine Feuerraumtür 101 zugänglich ist. Dort kann Brennstoff auf ein Feuerrost 112 aufgelegt werden. Die zur Verbrennung erforderliche Luft kann entweder über nicht dargestellte Luftzuführungen oder von unten durch den Feuerrost 112 zugeführt werden. Entstehende Asche fällt durch den Feuerrost 112 in den darunterliegenden Aschekasten 113.

[0059] Die beim Abbrand des Brennstoffes anfallenden Abgase steigen durch Konvektion getrieben auf, wobei sie vor ihrem Austritt aus der Rauchgasöffnung 103 durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 strömen. Innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 werden oxidierbare Gase im Rauchgas nachoxidiert, sodass diese nicht als Luftschadstoff an die Umgebung

abgegeben werden. Darüber hinaus können organische Feinstäube in der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 nachoxidiert werden, sodass diese nicht als Feinstaub in die Umgebung gelangen. Alternativ oder zusätzlich können Feinstäube in zumindest einigen Betriebszuständen zu Grobstaub agglomeriert werden. Der Grobstaub kann entweder an das Material der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 angelagert werden, bis dieser bei hinreichend hohen Temperaturen oxidiert werden kann. Alternativ bzw. zusätzlich können anorganische Stäube Schichten bzw. Krusten an den Oberflächen der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 bilden, welche aufgrund von Temperaturschwankungen oder aufgrund von mechanischen, durch die Schichtdicke induzierten Spannungen abplatzen und in den Aschekasten 113 fallen. In diesem Fall können die Stäube zusammen mit den übrigen Verbrennungsrückständen entsorgt werden, ohne dass diese in die Atmosphäre abgegeben werden.

[0060] Die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 weist einen polygonalen, insbesondere viereckigen oder quadratischen Grundriss auf. In der Abgasnachbehandlungseinrichtung befinden sich eine Vielzahl von Öffnungen, welche jeweils einen gewendelten Strömungspfad ausbilden, wie vorstehend anhand der Figuren 2 bis 10 erläutert. Beispiele für Abgasnachbehandlungseinrichtung 2, welche eine Mehrzahl von parallel verlaufenden Strömungspfaden enthalten, werden nachstehend anhand der Figuren 14 und 15 näher erläutert.

[0061] Figur 11 zeigt weiterhin eine optionale Sprühelektrode 45, welche mit einer Hochspannungsversorgung 4 verbunden ist. Auch diese Funktion wird nachstehend anhand der Figur 15 näher erläutert.

[0062] Anhand der Figuren 12 und 13 wird eine Feststofffeuerungsanlage gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert. Dabei zeigt Figur 12 ein Schnittbild der gesamten Feststofffeuerungsanlage und Figur 13 zeigt ein Bauteil der Feststofffeuerungsanlage. Auch in diesem Fall bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Bestandteile der Erfindung, sodass sich die nachstehende Beschreibung auf die wesentlichen Unterschiede beschränken kann.

[0063] Wie bereits vorstehend anhand von Figur 1 erläutert, ist das Gehäuse 10 durch eine Wand in eine erste Kammer 11 und eine zweite Kammer 12 unterteilt. Die erste Kammer 11 ist als Pyrolysekammer ausgelegt. In der ersten Kammer 11 befindet sich daher ein Feuerrost 112, auf welchem ein organischer Brennstoff pyrolysiert werden kann. Das dadurch entstehende Pyrolysegas tritt durch den Gaseinlass 115 in die Zyklonbrennkammer 125 ein, welche sich in der zweiten Kammer 12 befindet. Das Pyrolysegas wird in der Zyklonbrennkammer 125 mit einem Oxidationsmittel umgesetzt. Das hierbei entstehende Abgas wird sodann durch die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 geleitet, ehe das gereinigte Abgas durch den Rauchgasanschluss 103 in die Umgebung abgeführt wird.

[0064] Die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 weist eine im Wesentlichen zylindrische Grundform auf und ist

aus einer Mehrzahl scheibenförmiger Elemente zusammengesetzt. In der zylindrischen Grundform von jedem scheibenförmigen Element 3 befinden sich mehrere Öffnungen 35, sodass eine Mehrzahl paralleler Strömungspfade ausgebildet wird. Hierdurch kann der Abgasgegendruck der Abgasnachbehandlungseinrichtung gesenkt werden und/oder der Rauchgasdurchsatz ansteigen.

[0065] Wie Figur 13 zeigt, enthält die zweite Kammer 12 weiterhin eine optionale Zuführöffnung 123, welche mit einem an sich bekannten Ozongenerator 124 verbunden ist. Auf diese Weise kann dem aus der Zyklonbrennkammer 125 austretenden Abgasstrom Ozon und/oder Sauerstoffradikale zugeführt werden, welche die Umsetzung der im Abgas enthaltenen Schadstoffe innerhalb der Abgasnachbehandlungseinrichtung verbessern oder ermöglichen. Insbesondere kann durch die Zugabe von Ozon oder Sauerstoffradikalen die Oxidation von Schadstoffen und Feinstäuben bei niedrigerer Temperatur erfolgen.

[0066] Auch die Figuren 12 und 13 zeigen eine optionale Hochspannungseinrichtung 4, welche mit zumindest einer Sprühelektrode den Abgasstrom zumindest abschnittsweise einem elektrischen Feld aussetzt. Dieses elektrische Feld kann die Anlagerung von nicht verbrannten Feinstäuben an die Wände der Strömungspfade der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 fördern und/oder die Agglomeration von Feinstäuben unterstützen, sodass aus Feinstaub ein Grobstaub wird, welcher entweder gegen den Rauchgasstrom zu Boden sinkt und vom Boden der Zyklonbrennkammer 125 entfernt werden kann. Alternativ oder zusätzlich können die Stäube in der Abgasnachbehandlungseinrichtung gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt nachoxidiert werden.

[0067] Die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 kann eine Masse von etwa 20 kg bis etwa 40 kg aufweisen. Das Material der die Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 bildenden scheibenförmigen Elemente 3 kann eine Wärmekapazität von etwa 0,55 kJ/(kg·K) bis etwa 1,2 kJ/(kg·K) aufweisen. Auf diese Weise lässt sich in der Abgasnachbehandlungseinrichtung bei einer Temperatur von etwa 500°C eine Wärmemenge speichern, welche derjenigen Wärme entspricht, welche bei der Verbrennung von etwa 0,7 kg bis etwa 1 kg Holz frei wird. Diese Wärmemenge ist ausreichend, um beim vorübergehenden Absinken der Abgastemperatur, beispielsweise beim Nachlegen von Brennstoff, die Abgasnachbehandlung der entstehenden Rauchgase sicherzustellen. Diese Wirkung beruht insbesondere darauf, dass an die in diesen Betriebsphasen kälteren Rauchgase in der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 Wärme abgegeben wird, bis diese eine zur Schadstoffminimierung günstige Temperatur von mehr als etwa 500°C oder mehr als etwa 550°C erreicht haben. Die Länge der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 bzw. der in der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 ausgebildeten Strömungspfade 36 ist so gewählt, dass die Durchströmzeit eines Abgases zumindest zwischen etwa 1,2 sec und etwa 1,8 sec beträgt.

Diese Zeit ist ausreichend, um eine effiziente Abgasnachbehandlung zu ermöglichen und den Schadstoffausstoß zu minimieren. Gleichzeitig ist der hierfür benötigte Bauraum hinreichend klein, um die erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung in gängigen Kleinf Feueranlagen einzusetzen.

[0068] Figur 14 zeigt einen Längsabschnitt einer Abgasnachbehandlungseinrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Im Unterschied zu der anhand der Figuren 2 bis 10 dargestellten ersten Ausführungsform der Erfindung unterscheidet sich die zweite Ausführungsform insbesondere dadurch, dass jedes scheibenförmige Element 3 eine Mehrzahl von Öffnungen aufweist. In Figur 14 sind die Öffnungen 35a, 35b und 35c beispielhaft mit Bezugszeichen bezeichnet. Insbesondere kann die Anzahl der Öffnungen 35 in einigen Ausführungsformen der Erfindung zwischen etwa 2 und etwa 30 betragen.

[0069] In einigen Ausführungsformen der Erfindung können die Öffnungen 35 an gleichen Stellen unterschiedlicher scheibenförmiger Elemente 3 angeordnet sein, wobei die Öffnungen jedoch in unterschiedlichen scheibenförmigen Elementen 3 um einen vorgebbaren Winkelbetrag zueinander verdreht sind, wie anhand der Figuren 9 und 10 für eine einzelne Öffnung erläutert wurde. Somit bilden sich beim Übereinanderstapeln der scheibenförmigen Elemente 3 wiederum gewendelte Pfade 36 aus. Weiterhin entstehen an den Grenzen benachbarter scheibenförmiger Elemente 3 Kanten bzw. Stufen im gewendelten Pfad 36, welche eine Mikroturbulenz hervorrufen. Diese Turbulenz führt einerseits zur Durchmischung des Abgases mit dem Oxidationsmittel, sodass eine effiziente Nachoxidierung gas- oder staubförmiger Schadstoffe erfolgen kann. Darüber hinaus trägt die Mikroturbulenz dazu bei, nicht oxidierbare Stäube an den Wänden abzulagern, bis diese entweder als anorganische Kruste aus der Abgasnachbehandlungseinrichtung 2 herausfallen oder hinreichende Bedingungen, insbesondere hinreichend hohe Temperaturen, zu deren Oxidation vorliegen.

[0070] Figur 14 zeigt lediglich beispielhaft acht scheibenförmige Elemente 3. Wie anhand der Figuren 1 und 11 bis 13 ersichtlich ist, kann die erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung selbstverständlich auch größere Längsausdehnung erreichen, so dass die gewünschte Längsausdehnung oder die gewünschte Gesamtmasse erreicht wird.

[0071] Anhand der Figur 15 wird eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung näher erläutert. Die dritte Ausführungsform unterscheidet sich von den vorstehend beschriebenen ersten und zweiten Ausführungsformen insbesondere durch das Vorhandensein einer Sprühelektrode 45. Die Sprühelektrode 45 besteht aus einem Metall oder einer Legierung. Die Sprühelektrode weist in etwa die Form der scheibenförmigen Elemente 3 auf. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Außenkontur bzw. der gesamte Flächeninhalt der Sprühelektrode 45 kleiner sein als die Außen-

kontur der benachbarten scheibenförmigen Elemente 3. Die scheibenförmigen Elemente 3 können eine Ausnehmung aufweisen, welche die Sprühelektrode 45 aufnimmt. Hierdurch kann die Sprühelektrode vollständig von den scheibenförmigen Elementen 3 umgeben sein, sodass diese vor versehentlicher Berührung geschützt ist. Zumindest die unmittelbar an die Sprühelektrode 45 angrenzenden scheibenförmigen Elemente 3 können aus einem elektrisch isolierenden Material gefertigt sein, beispielsweise einer Keramik. Im Übrigen weist die Sprühelektrode 45 identische oder ähnliche Öffnungen 35a und 35b auf wie die darüber und darunterliegenden scheibenförmigen Elemente 3, so dass die Pfade 36 durchgängig bleiben.

[0072] Die Sprühelektrode 45 ist über einen elektrischen Leiter 41 mit einem Hochspannungsgenerator 43 verbunden. Der Hochspannungsgenerator 43 kann mittels eines Netzkabels oder batteriebetriebenen oder durch einen Thermogenerator eine Primärspannung beziehen und an seinem Ausgang eine Hochspannung abgeben, welche beispielsweise mehr als 500 V oder mehr als 1 kV oder mehr als 5 kV oder mehr als 10 kV oder mehr als 20 kV beträgt. Die Hochspannung kann so gewählt werden, dass an der Sprühelektrode 45 elektrische Feldstärken unterhalb der Durchbruchspannung erzeugt werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Feldstärke an der Sprühelektrode 45 geringer sein als beispielsweise 1 kV/mm oder weniger als 0,7 kV/mm oder weniger als 0,6 kV/mm. Die Spannung kann jedoch so hoch gewählt sein, dass das elektrische Feld an der Sprühelektrode 45 größer ist als etwa 0,4 kV/mm.

[0073] Der elektrische Leiter 41 kann durch eine elektrische Isolation 42 vor Berührung geschützt werden. Die Isolation 42 kann in an sich bekannter Weise Rippen aufweisen, um die Weglänge für Kriechspannungen zu erhöhen und hierdurch die Isolation zu verbessern. Die Isolation 42 kann in einem Rohr 44 aus einem Kunststoff oder einer Keramik geführt werden, um den Benutzer der mit der Einrichtung ausgestatteten Kleinf Feueranlage vor dem Berühren der Hochspannung zu schützen.

[0074] Bei Betrieb der Hochspannungsquelle 43 liegt somit an der Sprühelektrode 45 ein elektrisches Feld an. Die im gewendelten Pfad 36 strömenden Rauchgase durchlaufen somit zumindest einen Längsabschnitt in der Abgasnachbehandlungseinrichtung, in welchem diese einem elektrischen Feld ausgesetzt werden. Das elektrische Feld kann die Agglomeration von Feinstäuben und damit die Umsetzung von Feinstaub zu Grobstaub unterstützen. Darüber hinaus können die elektrisch geladenen Feinstäube elektrostatisch an den Wänden der gewendelten Pfade 36 haften und dadurch aus dem Abgasstrom gefiltert werden. Durch diese Maßnahme kann somit die Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Abgasnachbehandlungseinrichtung weiter gesteigert werden.

[0075] In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Sprühelektrode dazu eingerichtet sein, eine dielektrisch behinderte Entladung zu erzeugen. Hierdurch können Ozon und/oder atomarer Sauerstoff mit hoher

Effizienz aus Umgebungsluft erzeugt werden, so dass Schadstoffe effizient oxidiert werden können.

[0076] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Ansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Ansprüche und die vorstehende Beschreibung "erste" und "zweite" Ausführungsformen definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Ausführungsformen, ohne eine Rangfolge festzulegen.

Patentansprüche

1. Abgasnachbehandlungseinrichtung (2), aufweisend zumindest einen Strömungspfad (36), welcher von einem ersten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung zu einem zweiten Ende der Abgasnachbehandlungseinrichtung verläuft, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) in zumindest einem Abschnitt aus einer Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3) zusammengesetzt ist, welche jeweils einen Längsabschnitt der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) bilden und welche jeweils zumindest eine Ausnehmung (35) aufweisen.
2. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Ausnehmung (35) so gestaltet ist, dass ausgehend vom Mittelpunkt (33) der Ausnehmung (35) unter einem vorgebbaren Radius (r) unter einem ersten Winkel (α) ein offener Flächenbereich (31) vorhanden ist und unter einem zweiten Winkel (β) ein geschlossener Flächenbereich (32) vorhanden ist und/oder dass die Ausnehmung (35) ausgehend vom Mittelpunkt (33) der Ausnehmung (35) zumindest eine Teilfläche (34) aufweist, welche sich radial nach außen erstreckt und einen Öffnungswinkel (γ) von etwa 10° bis etwa 50° aufweist und/oder dass die Ausnehmung (35) einen Flächenanteil von etwa 25% bis etwa 50% der Gesamtfläche des scheibenförmigen Elementes (3) aufweist.
3. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die scheibenförmigen Elemente (3) jeweils zwischen einer und etwa 30 Ausnehmungen (35) aufweisen und/oder dass benachbarte scheibenförmige Elemente (3) aus der Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3) um einen vorgebbaren Winkel zueinander verdreht angeordnet sind.

4. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die scheibenförmigen Elemente (3) eine Außenkontur (39) aufweisen, welche polygonal oder rund ist oder
dass die scheibenförmigen Elemente (3) eine Außenkontur (39) aufweisen, welche viereckig, insbesondere quadratisch ist.
5. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fläche der Ausnehmungen (35) der scheibenförmigen Elemente (3) vom ersten Ende (21) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) zum zweiten Ende (22) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) zunimmt und/oder
dass die Ausnehmungen (35) der scheibenförmigen Elemente (3) vom ersten Ende (21) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) zum zweiten Ende (22) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) einen gewendelten Pfad (36) ausbilden und/oder
dass die Abgasnachbehandlungseinrichtung eine Masse von etwa 15 kg bis etwa 50 kg oder von etwa 20 kg bis etwa 40 kg aufweist.
6. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die scheibenförmigen Elemente (3) aus einem Metall oder einer Legierung oder einem anorganischen nichtmetallischen Werkstoff bestehen, insbesondere einem Werkstoff, welcher Siliciumdioxid und/oder Aluminiumoxid und/oder Magnesiumoxid und/oder Calciumoxid und/oder Zirconiumoxid und/oder Chromoxid und/oder Siliciumcarbid enthält oder daraus besteht und/oder
dass die scheibenförmigen Elemente (3) aus einem Material mit einer Wärmekapazität von etwa 0,55 kJ/(kg·K) bis etwa 1,2 kJ/(kg·K) bestehen.
7. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** deren Länge bzw. die Länge des gewendelten Pfades (36) so gewählt sein, dass die Durchströmzeit eines Abgases zumindest zwischen etwa 1,2 s und etwa 1,8 s beträgt
8. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, weiterhin enthaltend zumindest eine Sprühelektrode (45), welche dazu eingerichtet ist, in zumindest einem Teilabschnitt ein elektrisches Feld zu erzeugen.
9. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, weiterhin enthaltend zumindest eine Sprühelektrode (45), welche dazu eingerichtet ist, eine dielektrisch behinderte Entladung zu erzeugen.
10. Feststofffeuerungsanlage (1) mit einer Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
11. Feststofffeuerungsanlage nach Anspruch 10, weiterhin enthaltend einen Ozongenerator (124) und eine Zufuhröffnung (123) welche dazu eingerichtet sind, einer Verbrennungsluft und/oder einem Abgasstrom Ozon (O₃) und/oder Sauerstoffradikale (O) zuzuführen.
12. Bausatz zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, enthaltend zumindest eine Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3), welche jeweils eine Ausnehmung (35) aufweisen.
13. Bausatz nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die scheibenförmigen Elemente (3) eine Außenkontur (39) aufweisen, welche viereckig, insbesondere quadratisch ist und die jeweilige Ausnehmung (35) in zumindest zwei scheibenförmigen Elementen (3) relativ zur Außenkontur eine andere Orientierung aufweist.
14. Verfahren zur Herstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit folgenden Schritten:
Bereitstellen einer Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3), welche jeweils zumindest eine Ausnehmung (35) aufweisen;
Stapeln der Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3), so dass diese jeweils einen Längsabschnitt der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) bilden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3) so gestapelt wird, dass die Ausnehmungen (35) der scheibenförmigen Elemente (3) vom ersten Ende (21) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) zum zweiten Ende (22) der Abgasnachbehandlungseinrichtung (2) einen gewendelten Pfad (36) ausbilden und/oder
dass weiterhin zumindest eine Sprühelektrode (45) zwischen die Mehrzahl von scheibenförmigen Elementen (3) eingebracht wird.

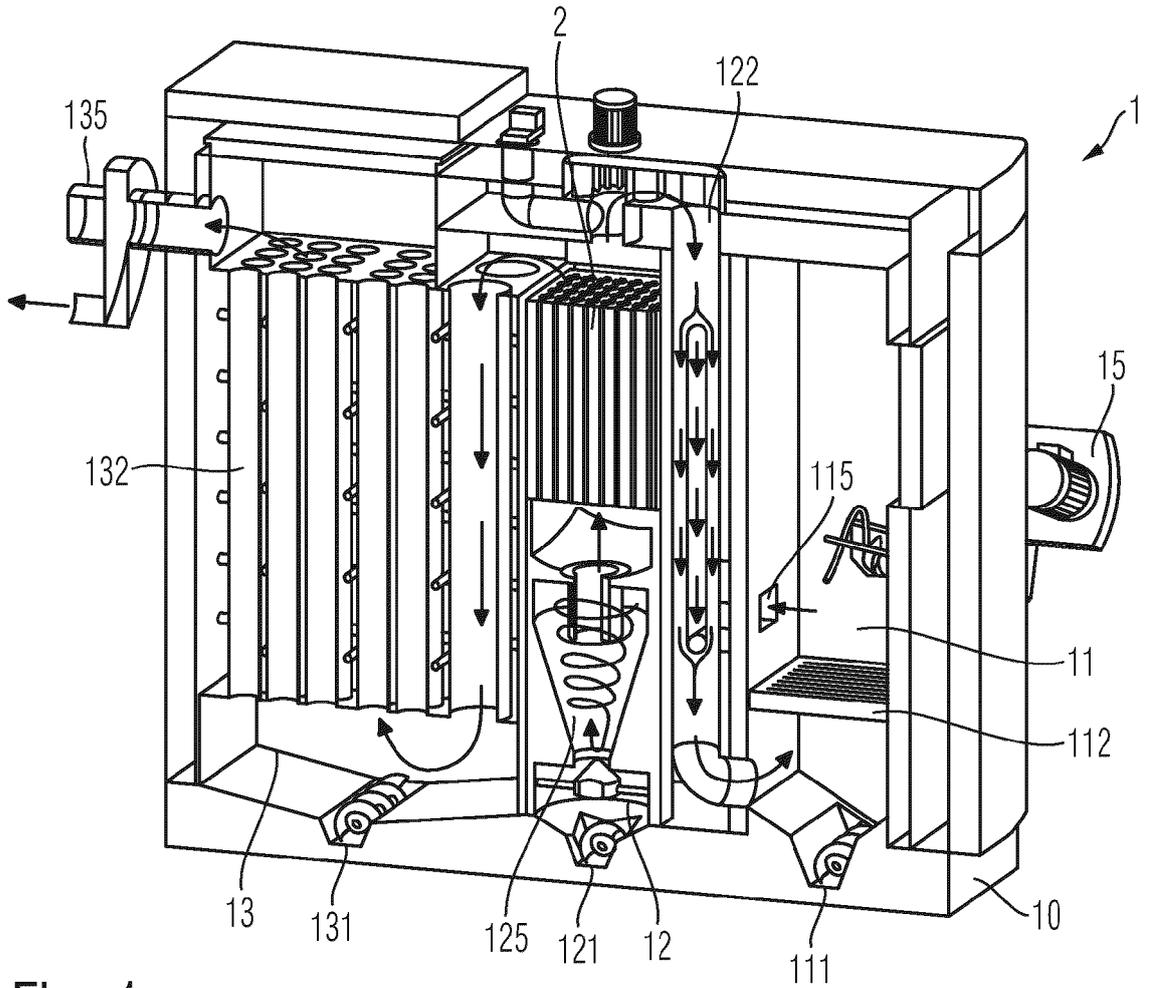


Fig. 1

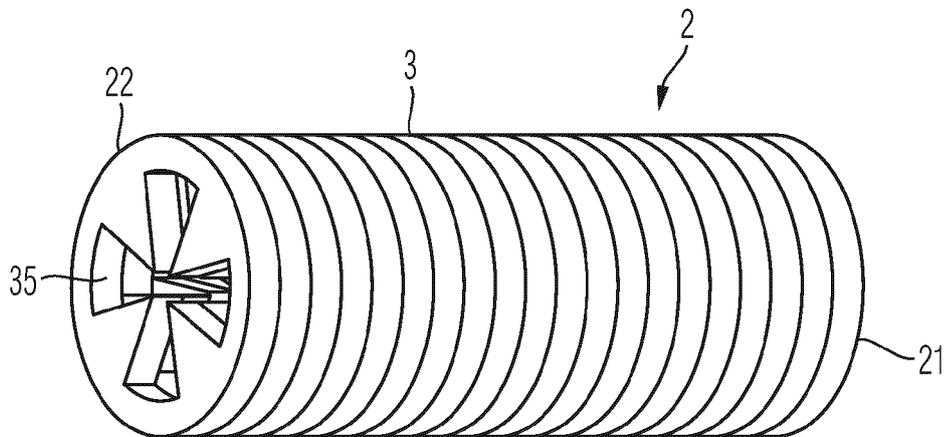


Fig. 2

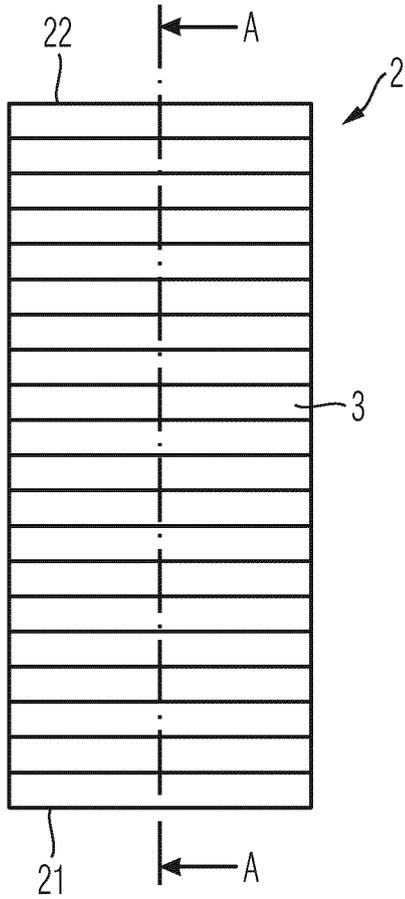


Fig. 3

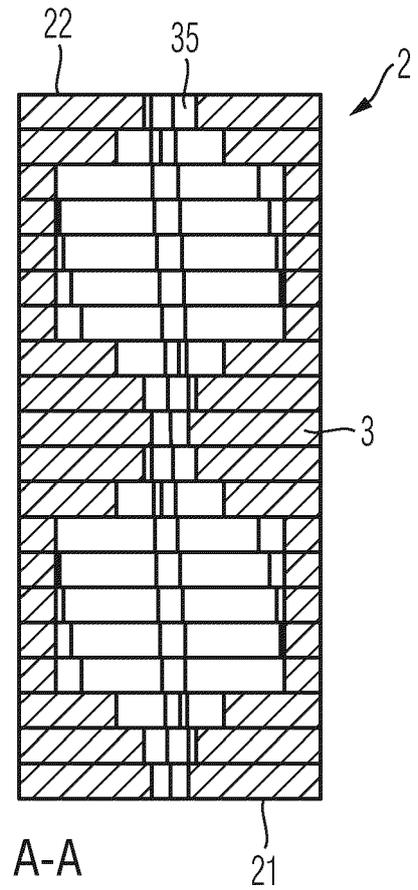


Fig. 4

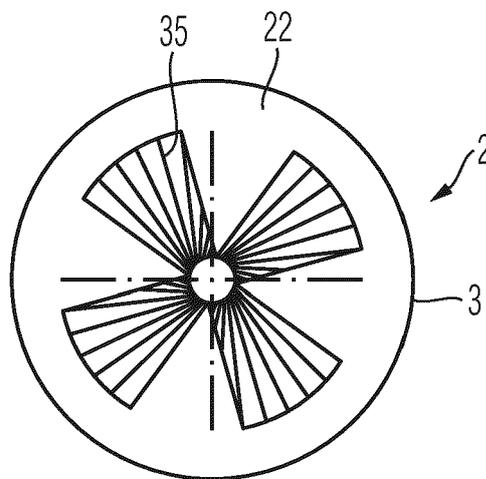


Fig. 5

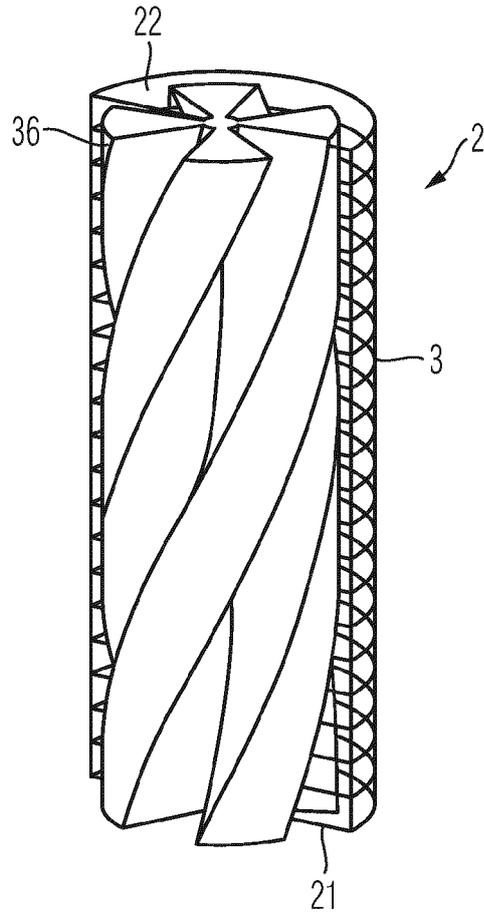


Fig. 6

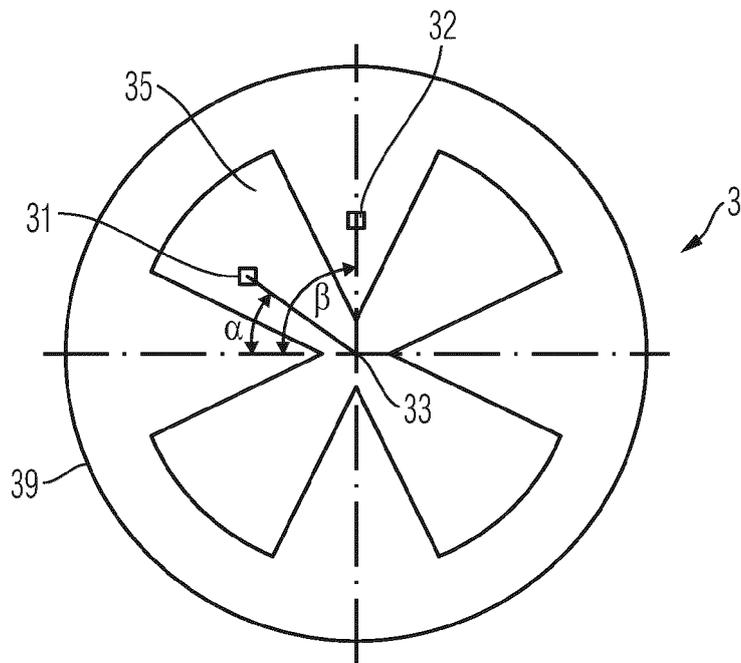


Fig. 7

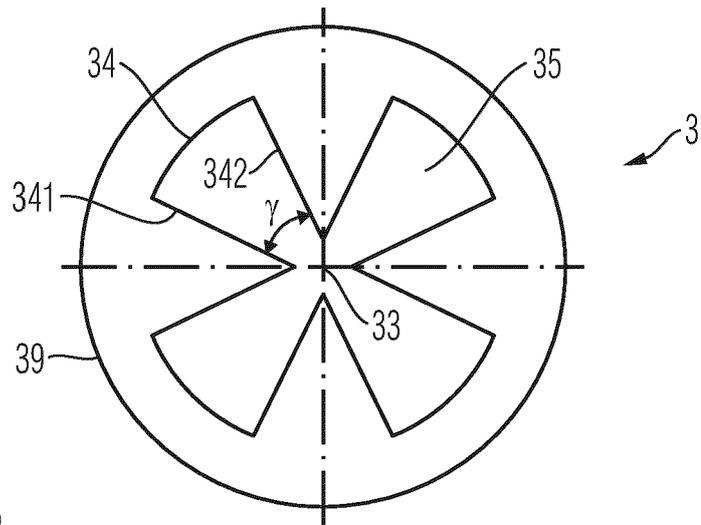


Fig. 8

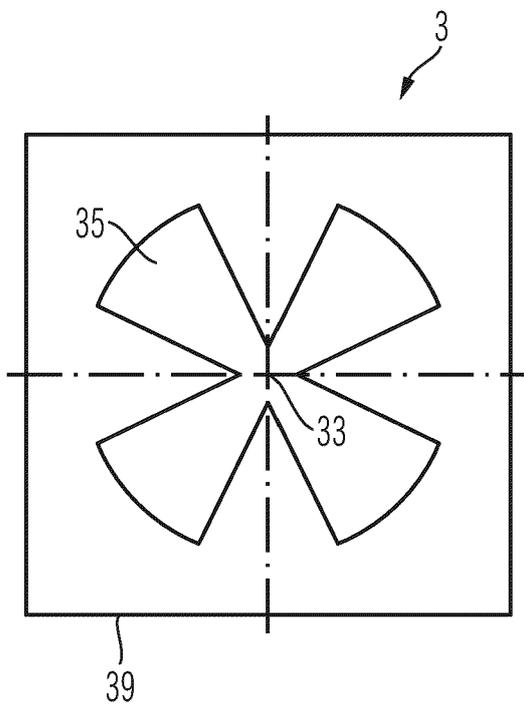


Fig. 9

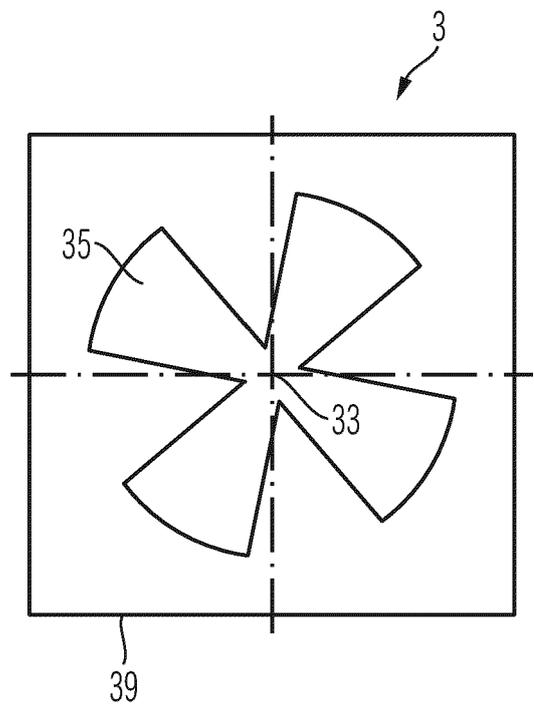


Fig. 10

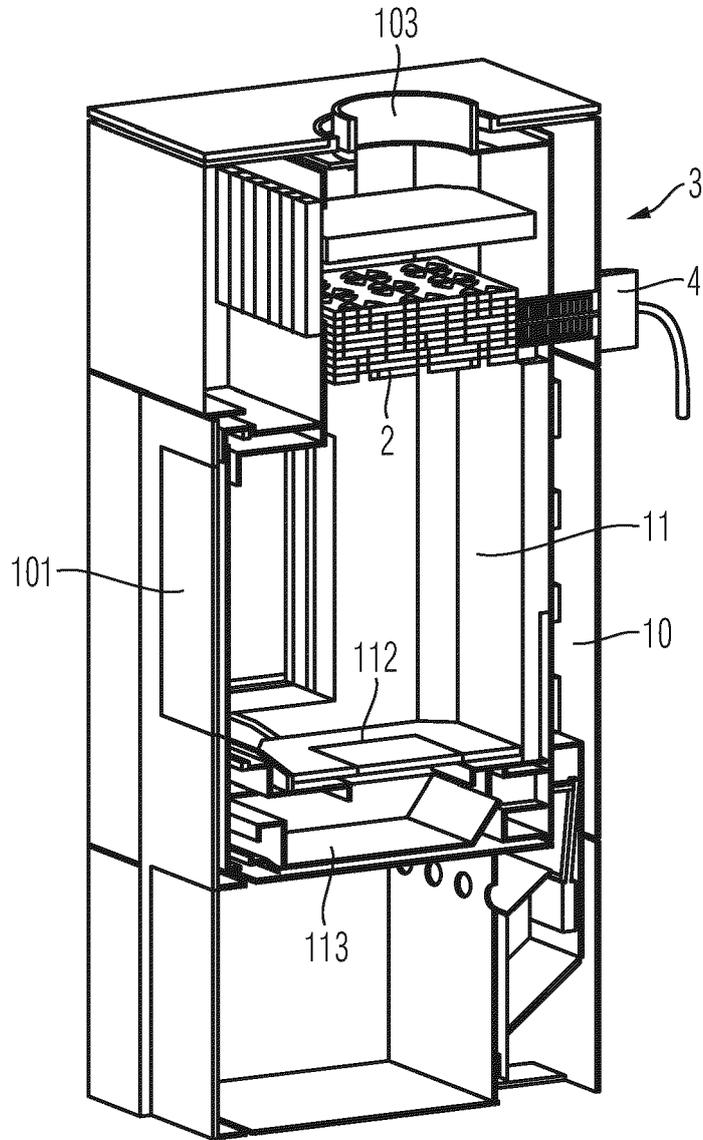


Fig. 11

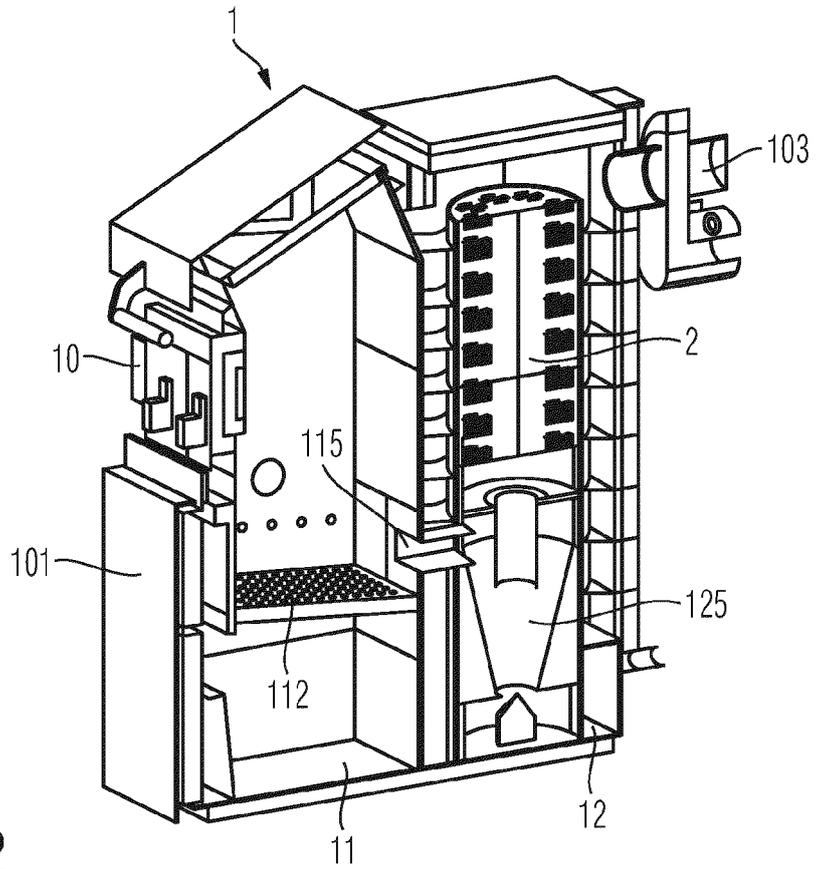


Fig. 12

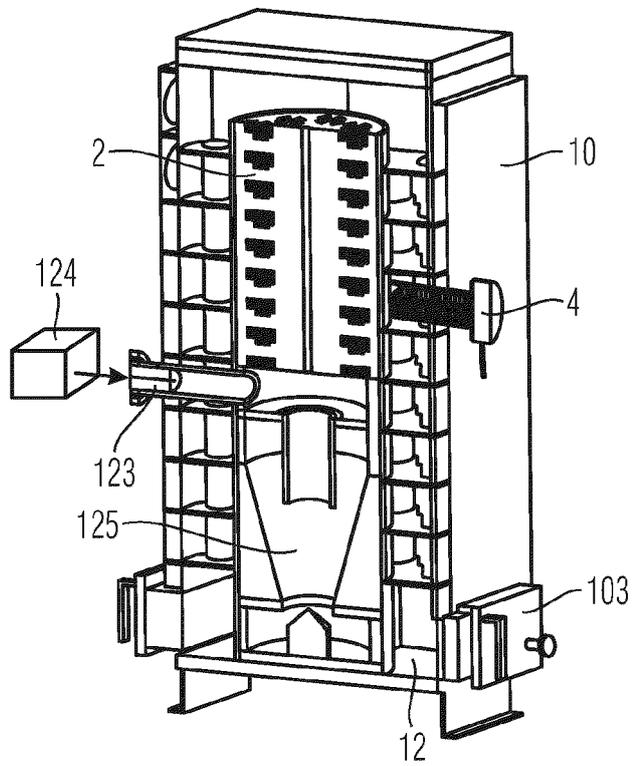


Fig. 13

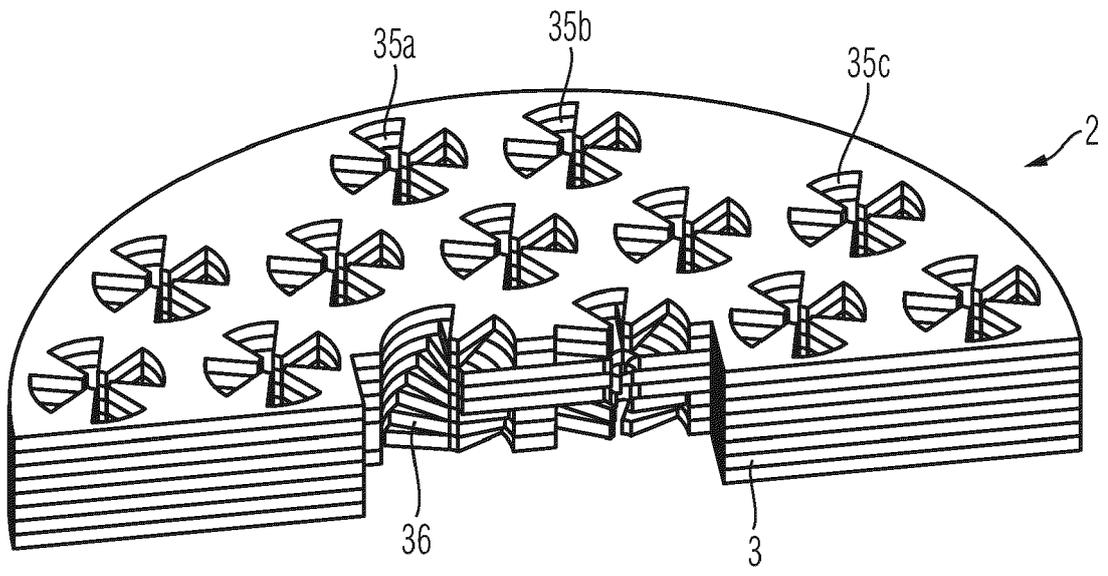


Fig. 14

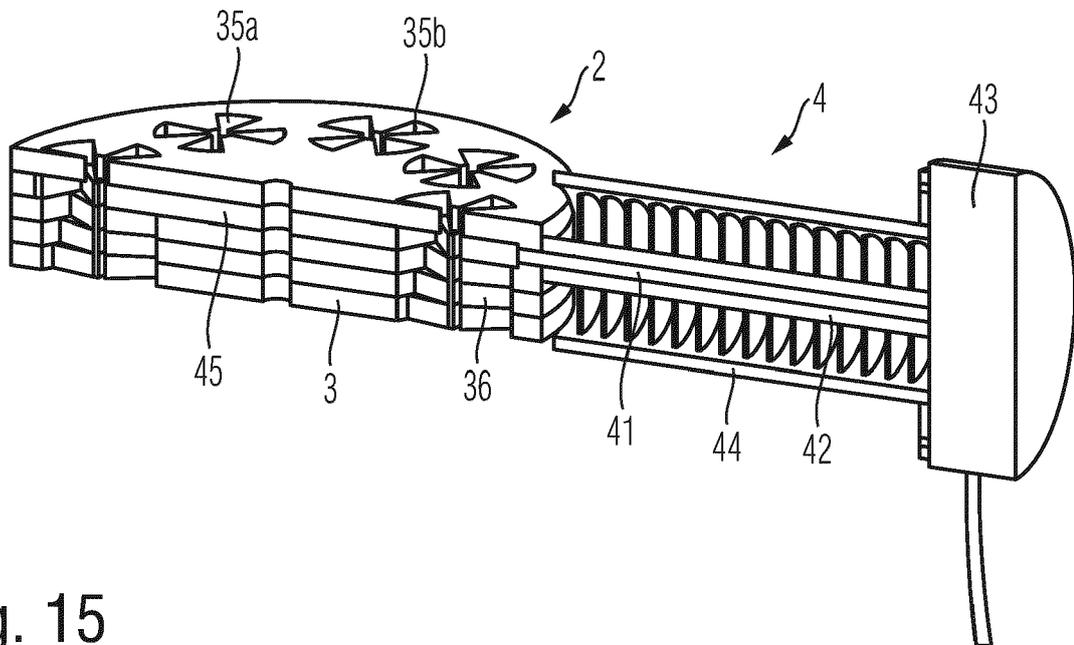


Fig. 15



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 20 21 0898

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2014/198758 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 18. Dezember 2014 (2014-12-18)	1-7, 12-15	INV. F23J15/02 F23B10/02 F23B40/02 F23B50/12 F23B80/02
Y	* Seite 8, Absatz 3 - Seite 9, Absatz 4 * * Ansprüche 1,5-7 * * Abbildungen 1,2 *	8-11	
Y	----- US 2012/090561 A1 (CHEN WEN-LO [TW]) 19. April 2012 (2012-04-19) * Seite 1, Absatz 11 * * Abbildung 1 *	8,9,11	
Y	----- DE 20 2016 100216 U1 (SCHMID FEUERUNGSTECHNIK GMBH & CO KG [DE]) 29. Februar 2016 (2016-02-29) * Seite 2, Absatz 7 * * Seite 4, Absatz 25 - Seite 5, Absatz 37 * * Abbildungen 1-4b *	10,11	
A	----- KR 101 363 689 B1 (KITURAMI BOILER [KR]) 14. Februar 2014 (2014-02-14) * maschinelle Übersetzung; Absatz [0028] - Absatz [0032] * * Absatz [0053] - Absatz [0059] * * Abbildungen 2,5 * -----	1,10,12, 14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F23J F23B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 25. März 2021	Prüfer Gavriliu, Costin
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 21 0898

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

25-03-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	WO 2014198758 A1	18-12-2014	DE 102013210985 A1 DE 202014010947 U1 EP 3008383 A1 WO 2014198758 A1	31-12-2014 13-02-2017 20-04-2016 18-12-2014
	US 2012090561 A1	19-04-2012	KEINE	
20	DE 202016100216 U1	29-02-2016	KEINE	
25	KR 101363689 B1	14-02-2014	KR 20130092709 A WO 2013122291 A1	21-08-2013 22-08-2013
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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