

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 734 234 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.12.2006 Patentblatt 2006/51**

(51) Int Cl.:  
**F01N 3/023<sup>(2006.01)</sup> F01N 3/28<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **06021008.5**

(22) Anmeldetag: **11.09.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK**

- **Kolbeck, Christian**  
**8605 Kapfenberg (AT)**
- **Pelzer, Walther**  
**8600 Bruck an der Mur (AT)**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)  
nach Art. 76 EPÜ:  
**03020688.2 / 1 515 012**

(74) Vertreter: **Wirnsberger, Gernot**  
**Mühlgasse 3**  
**8700 Leoben (AT)**

(71) Anmelder: **Pankl Emission Control Systems  
GmbH**  
**8605 Kapfenberg (AT)**

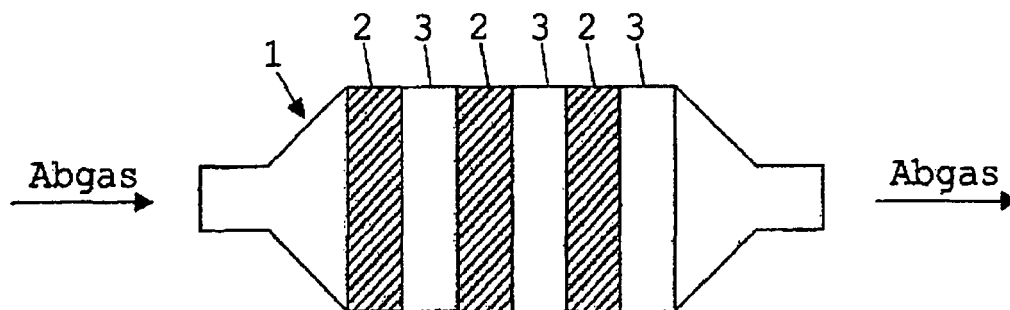
Bemerkungen:  
Diese Anmeldung ist am 06 - 10 - 2006 als  
Teilanmeldung zu der unter INID-Kode 62 erwähnten  
Anmeldung eingereicht worden.

(72) Erfinder:  
• **Miebach, Rolf**  
**50321 Brühl (DE)**

(54) **Verfahren zum Entfernen von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom eines Verbrennungsmotors**

(57) Es wird ein Verfahren zum Entfernen von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom von Verbrennungsmotoren in einem Modul (1) durch Oxidation der temporär in einer Katalysatoranlage eingefangenen Rußpartikel mit Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) angegeben, wobei das Stickstoffdioxid durch Oxidation des im Abgas vorhandenen Stickstoffmonoxids ( $\text{NO}$ ) an einem Katalysator in Abhän-

gigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases bei einer Temperatur oberhalb von ca. 200° C gebildet wird. Dabei wird das Abgas durch zumindest zwei eine Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas erhöhende edelmetallbeschichtete offenporige Metallschäume sowie diesen nachgeschaltete offenporige Metallschäume geleitet.



**Fig. 1**

**EP 1 734 234 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entfernen von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom eines Verbrennungsmotors in einem Modul durch Oxidation der temporär in einer Katalysatoranlage eingefangenen Rußpartikel mit Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>, wobei das Stickstoffdioxid durch Oxidation des im Abgas vorhandenen Stickstoffmonoxids NO an einem Katalysator in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases bei einer Temperatur oberhalb von etwa 200° C gebildet wird.

**[0002]** Zur Absenkung der Rußpartikelemission könnten rein motorseitige Massnahmen zur Einhaltung der weltweit immer strengeren Emissionsgrenzwerte, wie beispielsweise EURO IV / EURO V oder ULEV / SULEV, für kraftstoffbetriebene Verbrennungsmotoren lediglich mit einem wirtschaftlich nicht vertretbaren Aufwand erzielt werden. Daher kommen heute wie auch zukünftig so genannte Abgasnachbehandlungsanlagen zum Einsatz.

**[0003]** Grundsätzlich wird dabei zwischen zwei Verfahren zur Abgasnachbehandlung unterschieden, die sich einerseits auf die Minimierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen, die hier lediglich am Rande erwähnt seien, wie beispielsweise SCR-Katalysatorsysteme und NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren, und andererseits auf die Minimierung der Rußpartikelemission konzentrieren.

**[0004]** Durch den Einsatz einer geeigneten Abgasnachbehandlungsanlage für Kraftfahrzeuge in Kombination mit motorseitigen Maßnahmen ist es demnach möglich, die strengen Vorschriften hinsichtlich der Rußpartikelemission und der NO<sub>x</sub>-Emissionen einzuhalten.

**[0005]** So können heute beispielsweise mit klassischen Filteranlagen, wie z. B. keramischen Wall-Flow-Filtern, hinsichtlich der hier interessierenden Rußpartikel bereits Abscheidegrade von >95 % erzielt werden. Durch die Ansammlung von Rußpartikeln und von Asche aus den Motoröladditiven kommt es jedoch bei solchen Anlagen mit der Zeit zu einem unerwünschten Anstieg des Motorgegendruckes, der wiederum zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch führt. Aus dem Grund sind derartige Filteranlagen in regelmäßigen Zeitabständen komplett zu demontieren und zu reinigen.

**[0006]** Weiterentwickelte Varianten derartiger Filteranlagen tragen den erwähnten Nachteilen, der im Einsatz befindlichen Filteranlagen insofern Rechnung, als solche Anlagen auf der Filteroberfläche eine katalytische Beschichtung aufweisen. Durch eine derartige Beschichtung als Aktivkomponente wird die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel merklich herabgesetzt.

**[0007]** Die Herabsetzung der Verbrennungstemperatur der Rußpartikel ist insofern von großer Bedeutung, als die Abgase, die von neu entwickelten Verbrennungsmotoren ausgestoßen werden, immer weniger heiß sind. Bei Filteranlagen ohne katalytische Beschichtung der Filteroberfläche liegt die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel bei ca. 580° C bis 600° C. Allerdings bleibt auch bei den Varianten derartiger Filteranlagen noch die besondere Schwierigkeit der Entfernung der gefilterten Asche bestehen.

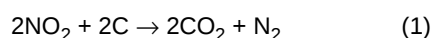
**[0008]** Einen weiteren Lösungsansatz zur Entfernung des im Filter angesammelten Rußes stellt die thermisch induzierte Regeneration dar. Dabei wird die Filteranlage beispielsweise mit einem Brenner oder elektrisch auf die für die Oxidation der Rußpartikel nötige Temperatur gebracht. Ein solches Verfahren geht selbstverständlich auf Kosten der Gesamtenergiebilanz des Verbrennungsmotors.

**[0009]** Eine andere Möglichkeit zur kontinuierlichen Entfernung der gefilterten Rußpartikel besteht darin, die Partikel durch Eindüsen eines die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Additivs aus dem Filtersubstrat zu entfernen. Ein solcher Lösungsansatz stellt ebenfalls keine besonders geeignete Lösung dar, weil die zugeführten Additive selbst zur Aschebildung beitragen.

**[0010]** Andere Lösungsansätze beschäftigen sich wiederum mit der Oxidation der gefilterten Rußpartikel mit NO<sub>2</sub>.

**[0011]** Aus der EP 341832 B1 geht ein Verfahren für die Abgasnachbehandlung von schweren Lastkraftwagen hervor. Bei dem Verfahren wird das Abgas zuerst über einen Katalysator ohne Filterwirkung geleitet, um das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zu oxidieren. Das Stickstoffdioxid enthaltende Abgas wird dann zum Abbrand der in einem stromabwärts angeordneten Filter gesammelten Rußpartikel verwendet. Dabei reicht die Stickstoffdioxidmenge aus, um die Verbrennung der gefilterten Rußpartikel bei unter 400° C zu ermöglichen.

**[0012]** Weiter ist aus der EP 835684 A2 ein Verfahren zur Abgasnachbehandlung von Lieferwagen und Personenkraftwagen bekannt. Entsprechend dem angegebenen Verfahren wird das Abgas über zwei hintereinander angeordnete Katalysatoren geleitet. Am ersten Katalysator wird das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert. Am zweiten stromabwärts angeordneten Katalysator, der als Filter wirkt, werden dann die gesammelten Rußpartikel abgelagert und bei einer Temperatur von ca. 250° C teilweise entsprechend der Gleichung (1) zu Kohlendioxid CO<sub>2</sub> oxidiert und das Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub> zu Stickstoff reduziert:



**[0013]** Demnach werden bei dem bekannten Verfahren die gefilterten Rußpartikel ohne die Verwendung eines Brenners oder elektrischen Heizelementes verbrannt, d. h. oxidiert. Dabei besteht der verwendete erste Katalysator aus einem Waben-Durchfluss-Monolithen, der mit einem Oxidationskatalysator beschichtet ist.

**[0014]** Aus der DE 3407172 C2 ist eine Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren bekannt, die in einem Gehäuse eine Reihe von Filterelementen mit unterschiedlichem Abstand voneinander enthält. Dabei weist zumindest ein Filterelement A eine die Verbrennungstemperatur von Ruß herabsetzende Beschichtung auf. Weiter ist zumindest ein Filterelement B vorhanden, das einen die Verbrennung von schädlichen gasförmigen Substanzen unterstützenden Katalysator enthält.

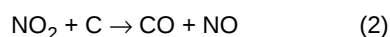
**[0015]** Aus der WO 99/09307 ist ein Verfahren für die Reduktion der Rußemission von schweren Lastkraftwagen bekannt. Bei dem angegebenen Verfahren wird das Abgas zur Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid über einen Katalysator und danach wie üblich zur Oxidation des in einem Rußfilter gesammelten Rußes geleitet. Neu bei dem angegebenen Verfahren ist, dass ein Teil des gereinigten Abgases danach über einen Kühler geleitet und mit der Ansaugluft des Dieselmotors vermischt wird.

**[0016]** Die bekannten Verfahren zur Abgasnachbehandlung von verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasen weisen noch den Nachteil auf, dass jeweils Filtervorrichtungen verwendet werden, die trotz aller weiteren vorgesehenen Hilfsmaßnahmen die Gefahr mit sich bringen, irgendwann zu verstopfen.

**[0017]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, ein Verfahren mit einer als ständig offenes System betriebsbaren Vorrichtung zur Abgasnachbehandlung von verbrennungsmotorisch erzeugtem Abgas zu schaffen, die als sich selbst "On-Board" regenerierende Anlage ständig offen ist und im wesentlichen ohne die sonst üblichen Filtervorrichtungen arbeitet und damit ein Verstopfen der Abgasnachbehandlungsanlage verhindert sowie gleichzeitig eine wirkungsvolle Nachbehandlung des hervorgerufenen Abgases erzielt, vor allem hinsichtlich der Entfernung der Rußpartikel aus dem zu behandelnden verbrennungsmotorisch erzeugtem Abgas.

**[0018]** Nach der Erfindung wird die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0019]** Dabei hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass die in den verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasen vorhandenen Rußpartikel mit Hilfe eines auf einer FeCr-Legierung basierenden offenporigen Metallschaumes zunächst temporär eingefangen werden. Die Rußpartikel werden dann über die so genannte Gaskatalyse entsprechend den Gleichungen (2) und (3) mit dem am edelmetallbeschichteten Metallschaum durch Rezirkulation von Stickstoffmonoxid nachhaltig erzeugten Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub> oxidiert, d.h. verbrannt:



**[0020]** Das gemäß der Gleichung (2) entstehende Stickstoffmonoxid NO reagiert an dem edelmetallbeschichteten Metallschaum wieder zu Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>, so dass von einer Mehrfachnutzung des Stickstoffmonoxids gewissermaßen durch Rezirkulation gesprochen werden kann, die eine nachhaltige Steigerung des für die Reduktion von Rußpartikeln erforderlichen und an dem edelmetallbeschichteten Metallschaum erzeugten Stickstoffdioxids NO<sub>2</sub> hervorruft.

**[0021]** Der Metallschaum zeichnet sich durch hohe thermische Oxidationsbeständigkeit, hohe Temperaturwechselbeständigkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit, insbesondere gegenüber verdünnter Schwefelsäure, und mechanische Festigkeit aus.

**[0022]** Dabei ist der Metallschaum zumindest mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet.

**[0023]** Weiter ist der Metallschaum vorteilhafter Weise mit einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Verbindung beschichtet, wobei vorzugsweise Cerorthovanadat (CeVO<sub>4</sub>) verwendet wird.

**[0024]** Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, dass die beschichteten Metallschäume auch nicht von der Asche aus den Motoröladitiven inhibiert werden, da solche Asche die Metallschäume passieren kann und ausgeblasen wird, so dass die bevorzugte Vorrichtung als sich selbst regenerierendes Modul ständig offen bleibt.

**[0025]** Der erfindungsgemäß zum Einsatz kommende Metallschaum, dessen Geometrie nahezu frei wählbar ist, kann mit zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden. Ein Verfahren beruht auf der Imprägnierung eines PU-Schaum-Precursors mit einem so genannten Slurry, der sphärische Metallpartikel mit exakt definierter Partikelgrößenverteilung enthält, und einem anschließendem Sinterprozess. Bei dem anderen Verfahren handelt es sich um ein herkömmliches Feingussverfahren.

**[0026]** Ein besonderer Vorteil des verwendeten offenporigen Metallschaumes im Gegensatz zu Wall-Flow-Filtern besteht insbesondere in der ungeordneten Zellgeometrie, die innerhalb kürzester Wegstrecken eine 3D-Durchmischung, d.h. eine turbulente Durchmischung, des Abgases ermöglicht. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Katalysatorvorrichtung erhöht und ein Verstopfen verhindert.

**[0027]** Vorzugsweise ist der Metallschaum mit einer relativen Dichte im Bereich von 2 bis 20 % ausgebildet, wobei der Metallschaum elektrisch leitend ist.

**[0028]** Weiterhin ist der Metallschaum bevorzugter Weise mit einer gewissen Porenanzahl ausgestattet, die sich in einem Bereich von 3 bis 80 Poren pro inch (pores per (linear) inch) oder in der Abkürzung (ppi) befindet.

**[0029]** Die Edelmetallbeschichtung auf dem Metallschaum wird vorzugsweise direkt oder durch Imprägnieren eines Wash-coats mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle in einer Konzentration von 1,0 g bis 2,5 g Edelmetall pro Liter Metallschaum aufgebracht. Bei einem so ausgebildeten Katalysator handelt es sich um einen Oxidationskatalysator, der in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit selbstverständlich auch Kohlenwasserstoffe (HC) einschließlich der schweren Kohlenwasserstoffe (SOF) ab ca. 200° C und Kohlenmonoxid (CO) ab ca. 150° C oxidiert.

**[0030]** Weiterhin sind vorzugsweise Metallschäumen mit einer Ce(III)VO<sub>4</sub> (Cerorthovanadat)-Beschichtung vorgesehen, einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden katalytisch aktiven Verbindung, einer so genannten Sauerstoffspeicherverbindung. Ein solcher Katalysator setzt bei direktem Kontakt die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel auf ca. 360° C herab, so dass man von einer so genannten Festphasenkatalyse spricht.

**[0031]** Dabei ist auf den Metallschaum vorteilhafter Weise die für die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzende Verbindung Cerorthovanadat mit einem Plasma-Verfahren, einem Wash-coat-Verfahren oder einem Sol-Gel-Verfahren in einer Konzentration von 1,0 g bis 25 g CeVO<sub>4</sub> pro Liter Metallschaum aufgebracht.

**[0032]** Die Anordnung der beschichteten bzw. unbeschichteten Metallschäume in dem Katalysatormodul ist dabei nahezu frei wählbar. Vorzugsweise sollte die Vorrichtung jedoch zumindest aus einem mit einem Edelmetall beschichteten Metallschaum bestehen. Durch Variation der Porenanzahl und/oder der relativen Dichte des Metallschaumes gelingt es in vorteilhafter Weise, eine über die Länge des Katalysatormodules kontinuierliche Regeneration des zu behandelnden Abgases zu erzielen.

**[0033]** Dabei ist die Porenanzahl der Metallschäume in Richtung des Abgasstromes variabel gestaltet. Die Porenanzahl der Metallschäume nimmt jedoch vorzugsweise stromabwärts zu. Zwischen den einzelnen oder allen Metallschäumen besteht vorteilhafter Weise ein Abstand von 0 bis 50 mm.

**[0034]** Darüber hinaus kann der Metallschaum besonders vorteilhaft stoffschlüssig in ein metallisches Gehäuse eingebracht werden, und zwar vorzugsweise durch Einlöten, da es sich bei dem verwendeten Metallschaum, wie bereits erwähnt, um eine metallische Verbindung handelt. Dadurch kann bei Verwendung einer stoffschlüssigen Verbindung auf den Einsatz toxikologisch äußerst bedenklicher Quellmatten verzichtet werden, die beispielsweise bei Keramikfiltern standardmäßig verwendet werden.

**[0035]** Eine besondere Ausgestaltung der erfindungsgemäß eingesetzten Vorrichtung besteht darin, dass die Metallschäume mit einer Lagermatte in das metallische Modul eingebracht sind.

**[0036]** Weiterhin kann in vorteilhafter Weise ein Modul aufgebaut werden, dass aus mehreren gleichartig ausgebildeten Modulen oder verschiedenartig ausgebildeten Modulen zusammengesetzt ist. Dabei sind die Module bevorzugter Weise parallel zur Abgasströmung angeordnet, und zwar je nach Anforderung zu zwei gleichen oder unterschiedlichen Modulen oder zu drei gleichen oder unterschiedlichen Modulen und dergleichen.

**[0037]** Weitere Vorteile der Erfindung sind nachstehend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1:** Eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

**Fig. 2:** Eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

**Fig. 3:** Eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab eines anderen Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung;

**Fig. 4:** Eine schematische Darstellung in verkleinertem Maßstab einer Ausführung aus zwei parallel angeordneten Modulen gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 einer Vorrichtung zur Entfernung von verbrennungsmotorisch erzeugten Rußpartikeln nach der Erfindung und

**Fig. 5:** Einen Querschnitt in verkleinertem Maßstab entlang dem Schnitt A-B entsprechend der Fig. 4.

**[0038]** In Fig. 1 ist ein vom Abgas durchströmtes Modul 1 dargestellt, bei dem Metallschäume 2, 3 abwechselnd hintereinander angeordnet sind. Dabei sind die Metallschäume abwechselnd mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet oder unbeschichtet. Vorteilhafterweise sind die beschichteten Metallschäume 2 jeweils stromaufwärts vor den unbeschichteten Metallschäumen 3 in Abgasströmung angeordnet, die jeweils Rußpartikel temporär einfangen.

**[0039]** Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 3, d.h. die Einfügung der unbeschichteten Metallschäume 3 jeweils stromaufwärts vor den beschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist je nach Anforderung durchführbar.

**[0040]** Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 zeigt das Modul 1, bei dem lediglich mit Edelmetall beschichtete Me-

tallschäume 2 angeordnet sind, die selbst Rußpartikel temporär einfangen.

[0041] Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 zeigt das Modul 1, bei dem abwechselnd mit Edelmetall beschichtete Metallschäume 2 und mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichtete Metallschäume 4 angeordnet sind. Dabei sind vorteilhafter Weise die jeweiligen mit Edelmetall beschichteten Metallschäume 2 stromaufwärts vor den mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichteten Metallschäume 4 in Abgasströmung angebracht, die jeweils Rußpartikel temporär einfangen.

[0042] Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 4, d.h. die Einfügung der mit einer die Verbrennungstemperatur von Rußpartikeln herabsetzenden Verbindung beschichteten Metallschäume 4 jeweils stromaufwärts vor den edelmetallbeschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist je nach Anforderung auch wählbar.

[0043] Bei der so ausgebildeten Ausführung wird der eingefangene Ruß zusätzlich durch direkten Kontakt mit der oberflächlich aufgetragenen als Katalysator wirkenden Beschichtung oxidiert. Die aufgetragene Beschichtung besteht dabei aus einer Sauerstoffspeicherverbindung, wie beispielsweise Cerorthovanadat  $\text{Ce(III)VO}_4$ .

[0044] In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einem Modul 5 dargestellt, das aus zwei parallel angeordneten Modulen 1' gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 aufgebaut ist, bei dem allerdings der konisch auslaufende Einlassbereich für das Abgas und der konisch zulaufende Auslassbereich für das Abgas entfallen sind. Bei einer solchen Ausführung durchströmt das Abgas jeweils die parallel angeordneten Module 1' wie im Zusammenhang mit Fig. 1 angegeben. Dabei sind die Metallschäume 2, 3 abwechselnd mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet oder unbeschichtet. Vorteilhafterweise sind die beschichteten Metallschäume 2 jeweils stromaufwärts vor den unbeschichteten Metallschäumen 3 in Abgasströmung angeordnet.

[0045] Eine andere Anordnung der Metallschäume 2, 3, d.h. die Einfügung der unbeschichteten Metallschäume 3 jeweils stromaufwärts vor den beschichteten Metallschäumen 2 in Abgasströmung ist je nach Anforderung ebenfalls wählbar.

[0046] Weiterhin sind nicht lediglich zwei parallel angeordnete Module 1' in dem Modul 5 vorzusehen, sondern entsprechend den gestellten Anforderungen sind auch mehrere Module 1' in dem Modul 5 zur Steigerung des Wirkungsgrades in vorteilhafter Weise unterzubringen.

[0047] Die Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch das in Fig. 4 dargestellte Modul 5 entlang der Schnittlinie A-B, wobei jeweils ein Modul 1' parallel zur Abgasströmung angeordnet und vom Abgas durchströmt wird.

[0048] Die parallele Anordnung und die Anzahl der Module 1' in dem Modul 5 kann nahezu beliebig an die jeweilige Motorleistung angepasst werden. Dabei kann dem erforderlichen Wirkungsgrad hinsichtlich der Entfernung von Rußpartikeln aus dem verbrennungsmotorisch erzeugten Abgasstrom vorteilhaft Rechnung getragen werden, und zwar durch die Art der Edelmetallbeschichtung oder Edelmetallbeladung, die geometrische Oberfläche des Metallschaumes und die Anzahl der beschichteten Metallschäume.

[0049] So konnten beispielsweise Emissionsreduktionen für Rußpartikel von ca. 85 % bis 90 % erzielt werden, ohne dabei die geforderten zulässigen Stickstoffdioxid-Grenzwerte zu überschreiten.

[0050] Darüber hinaus kann der Wirkungsgrad für die Reduktion der Rußpartikelemission durch eine thermisch induzierte Regeneration noch weiter erhöht werden, wie diese beispielsweise mit einem Brenner oder einer elektrischen Energieeinkopplung durch eine Widerstandsheizung erreicht werden kann.

[0051] Die thermisch induzierte Regeneration kann auch durch Oxidation von spät in den Verbrennungsmotor eingespritztem Kraftstoff erfolgen, einer so genannten Nacheinspritzung, durch welche die Abgastemperatur zunächst von ca. 150 bis 200° C auf ca. 400° C angehoben werden kann.

[0052] Zusätzlich gelingt es durch Oxidation von motorisch nachhaltig erzeugten Kohlenwasserstoffen (CH) am edelmetallbeschichteten Metallschaum oder Oxidationskatalysator die Temperatur im Modul um weitere ca. 200° C auf letztendlich die für die Rußpartikelverbrennung erforderliche Temperatur von ca. 600° C zu erhöhen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Entfernen von Rußpartikeln aus einem Abgasstrom eines Verbrennungsmotors durch Oxidation von temporär in einer Katalysatoranlage eingefangenen Rußpartikeln mit Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$ , wobei das Stickstoffdioxid durch Oxidation des im Abgas vorhandenen Stickstoffmonoxids NO an einem Katalysator in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit des Abgases bei einer Temperatur oberhalb von 200° C gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abgas durch zumindest zwei eine Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas erhöhende edelmetallbeschichtete offenporige Metallschäume sowie diesen nachgeschaltete offenporige Metallschäume geleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume aus einer FeCr-Legierung bestehen.

## EP 1 734 234 A2

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die edelmetallbeschichteten Metallschäume zumindest mit einem Edelmetall aus der Gruppe Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt oder einem Gemisch dieser Edelmetalle beschichtet sind.
- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die nachgeschalteten Metallschäume mit einer die Verbrennungstemperatur der Rußpartikel herabsetzenden Verbindung, insbesondere Cerorthovanadat  $\text{CeVO}_4$  beschichtet sind.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume mit einer relativen Dichte im Bereich von 2 bis 20 % ausgebildet sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallschäume mit einer Porenanzahl in einem Bereich von 3 bis 80 ppi ausgebildet sind.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Porenanzahl der Metallschäume in Richtung des Abgasstromes variiert gestaltet sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Porenanzahl der Metallschäume in Richtung des Abgasstromes zunimmt.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen einzelnen oder allen Metallschäumen ein Abstand von 0 bis 50 mm besteht.

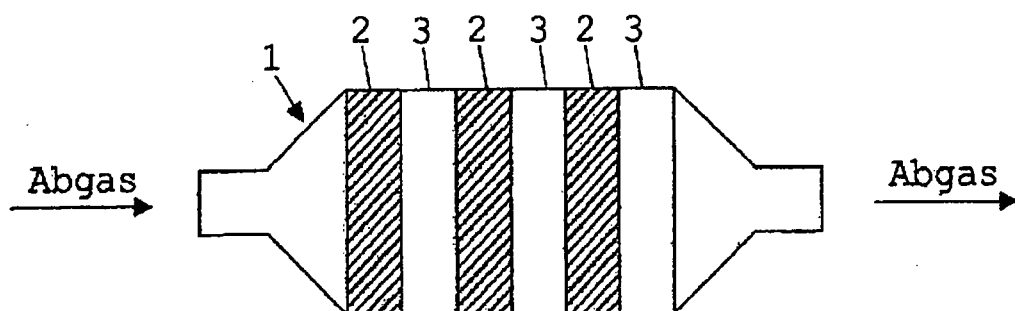


Fig. 1

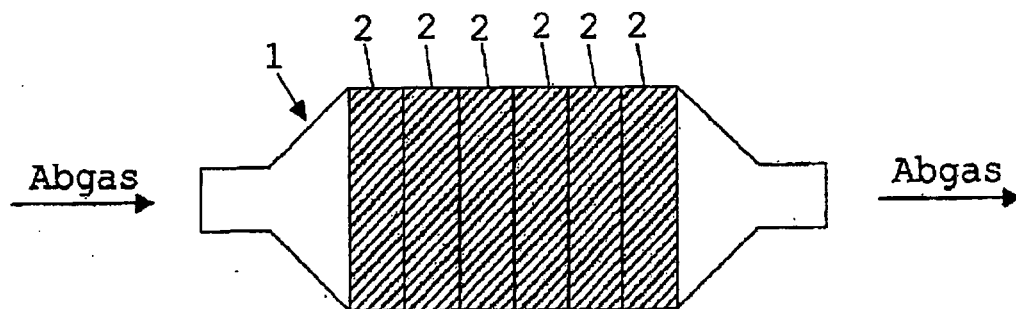


Fig. 2

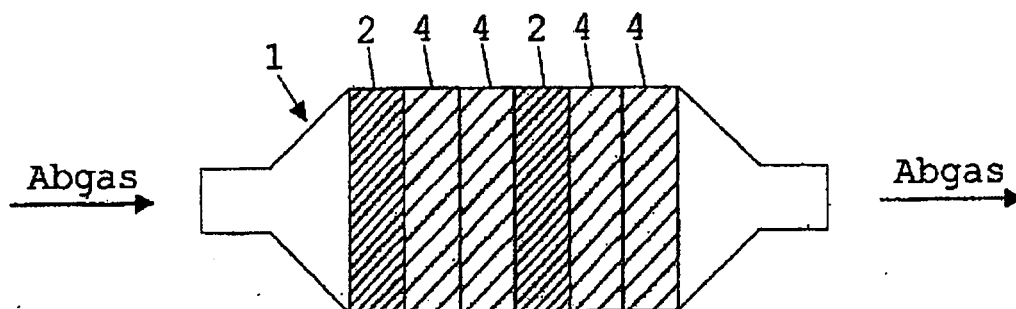


Fig. 3

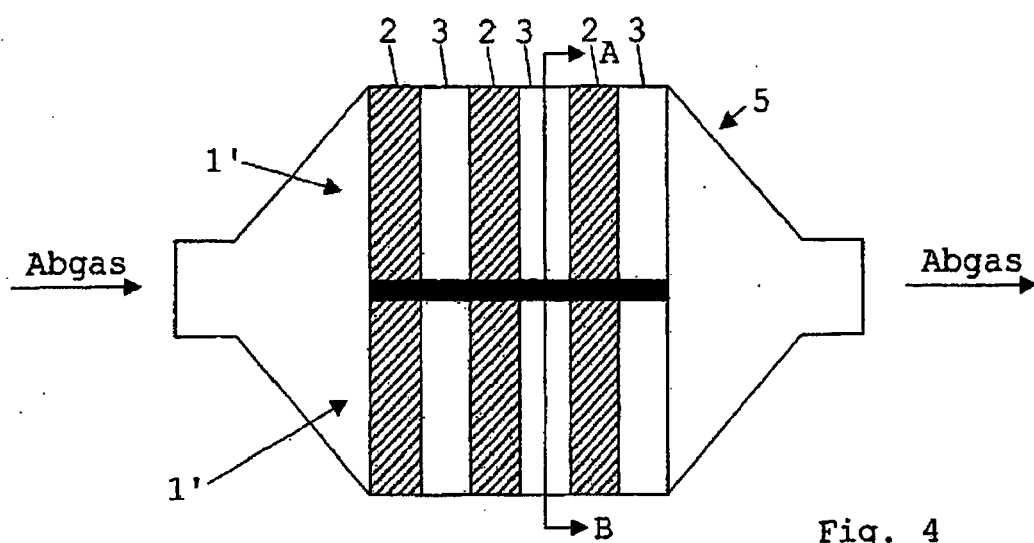


Fig. 4

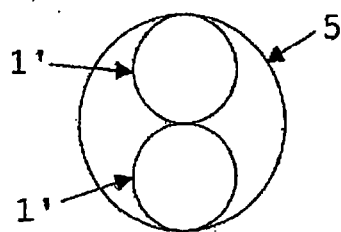


Fig. 5

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 341832 B1 [0011]
- EP 835684 A2 [0012]
- DE 3407172 C2 [0014]
- WO 9909307 A [0015]