

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 1 495 796 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
12.01.2005 Patentblatt 2005/02

(51) Int Cl.7: B01D 53/94, B01D 53/88,  
F01N 3/023

(21) Anmeldenummer: 03405512.9

(22) Anmeldetag: 09.07.2003

(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

(72) Erfinder:  
• Bunge, Rainer  
8057 Zürich (CH)  
• Bürgler, Bernhard  
8620 Wetzikon (CH)

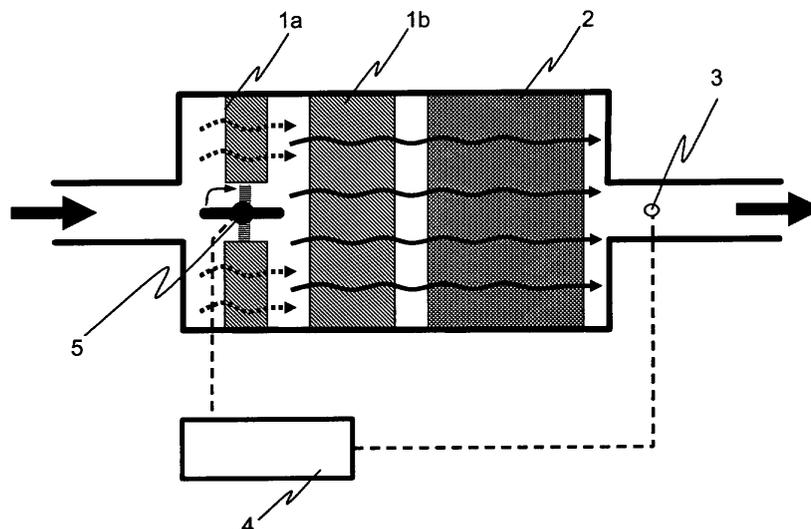
(71) Anmelder: Hochschule Rapperswil,  
Institut für angewandte Umwelttechnik  
8640 Rapperswil (CH)

### (54) Verringerung der Stickstoffdioxid-emission bei kontinuierlich regenerierenden Russpartikelfiltern

(57) Die Erfindung vermindert das Problem der erhöhten NO<sub>2</sub> Emission im Abgas von Dieselmotoren, die mit einem kontinuierlich regenerierenden Partikelfilter (CRPF) ausgerüstet sind. Nach dem erfindungsgemässen Verfahren wird der CRPF mit einem Oxidationskatalysator ausgestattet, dessen vom Abgas überströmte Oberfläche variabel ist. Bei hohem NO<sub>2</sub>-Bedarf des Partikelfilters wird die katalytisch aktive Oberfläche des Oxidationskatalysators vergrössert und bei niedrigem NO<sub>2</sub>-Bedarf entsprechend verringert. Der in Figur 1 in einem Ausführungsbeispiel skizzierte CRPF ist mit einem erfindungsgemässen zweiteiligen Oxidationskatalysator

ausgerüstet (1a, 1b). Der zweite Teil des Oxidationskatalysators (1b) ist so dimensioniert, dass er genügend NO<sub>2</sub> produziert, um den nachgeschalteten Partikelfilter (2) im Normalbetrieb weitgehend zu regenerieren. Der erste Teil (1a) kann durch Schliessen der über eine Sensorik (3) angesteuerten Klappe (5) zugeschaltet werden, wenn die NO<sub>2</sub>-Produktion, z.B. unter ungünstigen Betriebsbedingungen, nicht zur Regeneration des Partikelfilters (2) ausreicht. Auf diese Weise kann ein permanenter NO<sub>2</sub>-Überschuss im Abgas von CRPF vermieden werden. Wichtige Anwendungen der Erfindung finden sich beim Betrieb von Dieselmotoren im Untertagebau und im Innenstadtbereich.

Figur 1



EP 1 495 796 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung fällt in das Gebiet der Abgasreinigung, insbesondere von Dieselmotoren. Sie betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung nach den Oberbegriffen der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche. Verfahren und Vorrichtung dienen zur Verringerung der NO<sub>2</sub>-Emission von kontinuierlich regenerierenden Partikelfiltern.

**[0002]** Kontinuierlich regenerierende Partikelfilter (CRPF) für Dieselmotoren sind weit verbreitet. Diese Filter bestehen aus einem Partikelfilter zur Abscheidung der Russpartikel (PM) und einem diesem vorgeschalteten Oxidationskatalysator. Das Rohabgas überströmt zunächst den Oxidationskatalysator, wo das im Rohabgas enthaltene NO (Stickstoffmonoxid) mit überschüssigem Sauerstoff zu NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) oxidiert wird. Dieses NO<sub>2</sub> dient im nachgeschalteten Partikelfilter als Oxidationsmittel zur Verbrennung der dort angesammelten PM ("Regeneration"). Hierbei wird das NO<sub>2</sub> wieder zu NO reduziert.

**[0003]** Problematisch ist bei diesem Verfahren, dass ein so grosser NO<sub>2</sub> Überschuss gewählt werden muss, dass die Regeneration des Partikelfilters auch unter den ungünstigsten Bedingungen einwandfrei funktioniert. Solche ungünstigen Bedingungen stellen sich insbesondere ein bei:

- Abgastemperaturen deutlich unterhalb oder deutlich oberhalb ca. 300°C
- hohem Schwefelgehalt des Treibstoffes
- tiefem NO<sub>x</sub>/PM Verhältnis

**[0004]** NO<sub>2</sub> ist wesentlich gefährlicher als NO, denn NO<sub>2</sub> ist nicht nur selbst ein starkes Reizgas für die menschlichen Atemwege, sondern auch unmittelbar beteiligt an der Bildung von bodennahem Ozon. Insbesondere beim Einsatz in geschlossenen Räumen (z.B. im Tunnelbau), aber auch im Bereich von Innenstädten ist die durch CRPF verursachte zusätzliche Emission von NO<sub>2</sub> in hohem Masse unerwünscht.

**[0005]** Die Probleme sind branchenbekannt und hinreichend dokumentiert z.B. unter [www.dieselnet.com/tech/dpf\\_crt.html](http://www.dieselnet.com/tech/dpf_crt.html). Stand der Technik sind folgende Lösungsansätze.

**[0006]** Eine Möglichkeit besteht darin den Schwefelgehalt der Treibstoffe so zu limitieren, dass die CRPF auf diesen Maximalgehalt an Schwefel abgestimmt werden können. Übersteigt der Schwefelgehalt jedoch den Grenzwert, regeneriert der Filter nicht mehr vollständig.

**[0007]** Das Problem der ungenügenden Regeneration bei Abgastemperaturen unterhalb oder oberhalb 300°C wird gemäss JP 2002276337A2 (Nissan Motor) durch das Einbringen eines NO<sub>2</sub>-Speichermediums nach dem Oxidationskatalysator gelöst. Das Speichermedium wird bei optimaler Abgastemperatur mit NO<sub>2</sub> aufgeladen und gibt dieses bei nicht-optimaler Abgastemperatur wieder ab. Ein weiteres bekanntes Verfah-

ren zur Vermeidung von Regenerationsproblemen bei zu tiefen Abgastemperaturen besteht darin dem Treibstoff Additive zuzusetzen, die die Verbrennungstemperatur der PM im Filter verringern. Diese Additive sind teuer und müssen dem Treibstoff vorgängig zugesetzt werden, unabhängig davon, ob die Abgastemperatur im Betrieb tatsächlich zu tief für eine ordnungsgemässe Regeneration ist. Analoge Ansätze gibt es durch Modifikation der Filteroberflächen mit geeigneten Katalysatorbeschichtungen, die eine Verringerung der Zündtemperatur für PM bewirken (z.B. unter [www.mining-technology.com](http://www.mining-technology.com)).

**[0008]** Eine grundsätzliche Möglichkeit besteht in der Nachschaltung eines SCR-Entstickungskatalysators hinter dem Partikelfilter, was den Vorteil hat, dass hier nicht nur das NO<sub>2</sub>, sondern auch das NO zerstört wird. Solche Systeme sind aber technisch ausserordentlich aufwändig und bislang kaum verbreitet.

**[0009]** Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die es erlauben, die NO<sub>2</sub>-Emission von CRPF auf einfache und robuste Art und Weise zu reduzieren. Insbesondere sollen hierbei keine Treibstoffzusätze oder zusätzliche katalytische Beschichtungen notwendig sein.

**[0010]** Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren und die Vorrichtung, wie sie in den Patentansprüchen definiert sind.

**[0011]** Nach dem erfindungsgemässen Verfahren wird der CRPF mit einem Oxidationskatalysator ausgestattet, dessen vom Abgas überströmte Oberfläche variabel ist. Bei hohem NO<sub>2</sub>-Bedarf wird die vom Abgas überströmte Katalysatoroberfläche, also die katalytisch aktive Oberfläche, vergrössert und bei niedrigem NO<sub>2</sub>-Bedarf entsprechend verringert. Die Ausführung des Verfahrens wird anhand der Beschreibung der beispielhaften Ausführungsformen der erfindungsgemässen Vorrichtung deutlich.

**[0012]** Die erfindungsgemässe Vorrichtung besteht aus einem CRPF mit einem Oxidationskatalysator, dessen vom Abgas überströmte Oberfläche über einen Stellmechanismus variabel ist.

**[0013]** Das erfindungsgemässe Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die NO<sub>2</sub>-Emission eines CRPF auf einfache und robuste Art und Weise weitgehend vermieden werden kann, ohne dass ein Eingriff in die Chemie der Regeneration erforderlich ist (Treibstoffzusätze; zusätzliche Katalysatoren). Das System besteht in einer apparativ wenig aufwändigen Modifikation bestehender Technologie und kann auf bereits im Einsatz befindliche Fahrzeuge problemlos nachgerüstet werden. Das System ist besonders vorteilhaft in sensiblen Applikationen, z.B. im Tunnelbau oder im Innenstadtbereich.

**[0014]** Die Ausführung der Erfindung wird anhand der Figur 1 beispielhaft skizziert. Diese Figur 1 zeigt einen CRPF mit einem zweiteiligen Oxidationskatalysator (1a, 1b), einem Partikelfilter (2), einem Sensor für NO<sub>2</sub> (3), einer elektronischen Datenverarbeitung (4), und einer Absperrklappe (5).

**[0015]** Der zweite Teil des Oxidationskatalysators (1b) ist so dimensioniert, dass dieser bei günstigen Betriebsbedingungen gerade ausreicht, um genügend NO<sub>2</sub> zur Regeneration des Partikelfilters zu erzeugen. Der erste Teil des Oxidationskatalysators (1a) ist hingegen so dimensioniert, dass dieser zusammen mit dem zweiten Teil (1b) hinreichend viel NO<sub>2</sub> produziert, sodass auch bei ungünstigen Betriebszuständen eine vollständige Regeneration des Partikelfilters gewährleistet ist. Bei offener Klappe (5) wird der erste Teil des Oxidationskatalysators vom Rohgas praktisch nicht durchströmt (bypass-Betrieb), bei geschlossener Klappe werden beide Teile durchströmt, also die kombinierte Oberfläche beider Katalysatoren zur Oxidation verwendet. In der in Figur 1 dargestellten Vorrichtung wird die Klappe (5) durch eine elektronische Datenverarbeitung (4) angesteuert, wobei diese Datenverarbeitung mit dem Messsignal aus dem Sensor (3) gespeist wird. In dieser bevorzugten Ausführungsform misst der Sensor (3) die NO<sub>2</sub>-Konzentration im gereinigten Abgas. Der Sensor ist also dem Katalysator nachgeschaltet.

**[0016]** Eine weitere Ausführungsform besteht in einer Selbstregelung des Oxidationskatalysators, wie in Figur 2a/b skizziert. Der erste Teil des Oxidationskatalysators (1a) wird in diesem Fall mit einem Absperrorgan (6) versehen, das von einer Druckdifferenz zwischen dem Abgas vor dem Partikelfilter (2) und nach dem Partikelfilter (also dem Umgebungsdruck), angesteuert wird. Im Normalbetrieb ist das Absperrorgan (6) offen (bypass-Betrieb). Bei verstopftem Partikelfilter hingegen steigt der Abgasgegendruck an und der erste Teil des Oxidationskatalysators (1a) wird durch schliessen der Bypass zugeschaltet.

Diese Ausführungsform eignet sich insbesondere für gleichförmig laufende Motoren, also solche mit wenigen Lastwechseln.

**[0017]** In weiteren beispielhaften Ausführungsformen des erfindungsgemässen Verfahrens kann die Stellung der Klappe geregelt ("closed-loop") oder gesteuert ("open-loop") werden.

**[0018]** Als Regelungskriterien ("closed-loop") kommen neben der NO<sub>2</sub>-Konzentration solche Parameter als Messgrössen des Sensors (3) in Frage, die direkte oder indirekte Rückschlüsse auf den aktuellen NO<sub>2</sub>-Bedarf zur Regeneration des Partikelfilters ermöglichen, z. B.

- Sauerstoffgehalt im Abgas vor dem Oxidationskatalysator
- Sauerstoffgehalt im Abgas hinter dem Partikelfilter
- Kohlenmonoxidgehalt vor und nach dem Partikelfilter
- Abgasgegendruck des Partikelfilters
- Temperatur des Abgases an verschiedenen Stellen im CRPF

**[0019]** Zur Steuerung der Klappe ("open-loop") wird in der einfachsten Ausführungsform eine Zeitschaltuhr

verwendet, die in vorgegebenen Intervallen die Klappe öffnet bzw. schliesst. Modifiziert wird die Taktfrequenz beispielsweise anhand von Motorenkennwerten, wie Drehzahl, und/oder Treibstoffverbrauch und/oder Drehmoment.

## Patentansprüche

1. **Verfahren** zur Verringerung der NO<sub>2</sub>-Emission bei kontinuierlich regenerierenden Russpartikelfiltersystemen (CRPF), wobei das Abgas einen Oxidationskatalysator überströmt, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine vom Abgas überströmte Katalysatoroberfläche variabel gross ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine minimal verfügbare Oberfläche des Oxidationskatalysators so dimensioniert ist, dass diese gerade ausreicht, um den Partikelfilter unter günstigen Betriebsbedingungen zu regenerieren und dass eine maximale Oberfläche des Oxidationskatalysators so dimensioniert ist, dass diese ausreicht, um den Partikelfilter unter ungünstigen Betriebsbedingungen zu regenerieren.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grösse der vom Abgas überströmten Oberfläche des Oxidationskatalysators variiert wird aufgrund von Messparametern, die eine Berechnung oder eine Abschätzung eines aktuellen NO<sub>2</sub>-Bedarfs zur Regeneration des Partikelfilters zulassen.
4. Verfahren nach Anspruch 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens einer der Messparameter aus folgender Gruppe stammt:
  - NO<sub>2</sub>-Konzentration an einer Stelle im Abgasstrang, insbesondere nach dem Partikelfilter
  - NO -Konzentration an einer Stelle im Abgasstrang
  - Sauerstoffkonzentration an einer Stelle im Abgasstrang
  - Kohlenmonoxidkonzentration an einer Stelle im Abgasstrang
  - Abgasgegendruck des Partikelfilters
  - Temperatur des Abgases vor dem CRPF, in dem CRPF, oder hinter dem CRPF
  - Motorenkennwerten wie Drehzahl, Treibstoffverbrauch oder Drehmoment.
5. **Vorrichtung** zur Verringerung der NO<sub>2</sub>-Emission bei kontinuierlich regenerierenden Russpartikelfiltersystemen (CRPF) **dadurch gekennzeichnet, dass** durch ein Stellglied die Grösse einer vom Gas überströmten Oberfläche des Oxidationskatalysators veränderlich ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Oxidationskatalysator aus zwei in Serie geschalteten separaten Teilen besteht, wobei ein Teil mit einem durch das Stellglied regelbaren Bypass ausgestattet ist. 5
7. Vorrichtung nach Anspruch 6 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen des zuschaltbaren einen Teils kleiner ist, als das halbe Hubraumvolumen des Motors. 10
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zur Regelung des Stellglieds nach Massgabe von Messwerten von wenigstens einem im Abgasstrang befindlichen Sensor aufweist. 15
9. Vorrichtung nach Anspruch 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor zur Messung einer der folgenden Grössen ausgebildet ist: 20
- NO<sub>2</sub>-Konzentration
  - NO-Konzentration
  - Sauerstoffkonzentration (z.B. mittels Lambda Sonde) 25
  - Druck
  - Temperatur.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zur Steuerung des Stellglieds nach Massgabe von Motorenkenndaten wie Drehzahl, Treibstoffverbrauch oder Drehmoment aufweist. 30

35

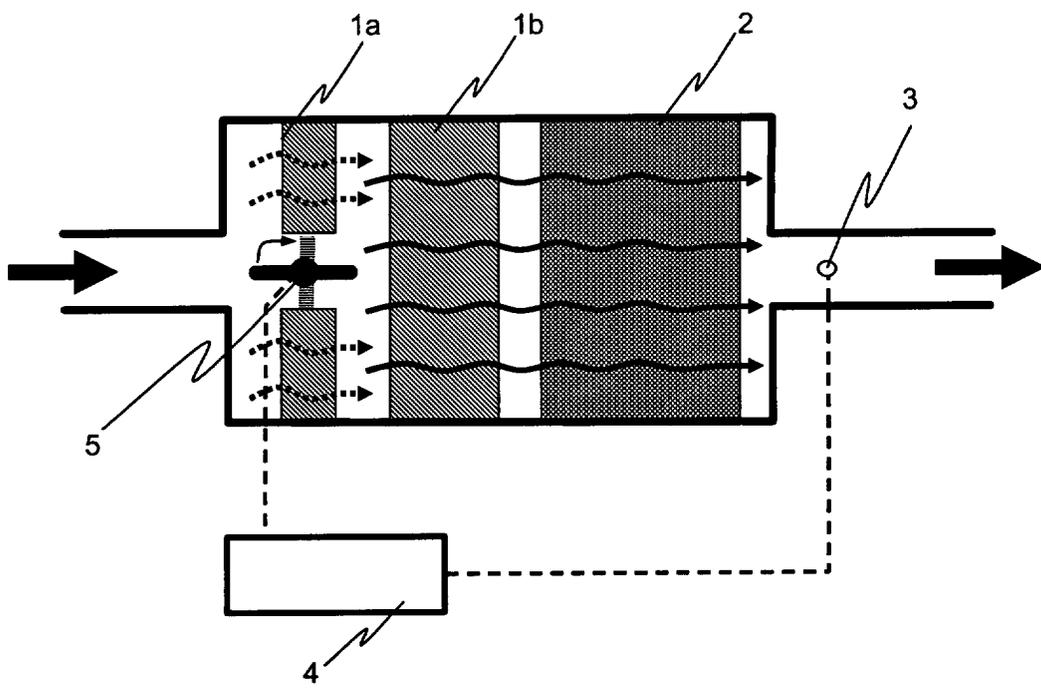
40

45

50

55

Figur 1







Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 03 40 5512

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.CI.7)
A	GB 2 313 796 A (FORD MOTOR CO) 10. Dezember 1997 (1997-12-10) * Anspruch 1 *	1-10	B01D53/94 B01D53/88 F01N3/023
A	EP 0 916 389 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 19. Mai 1999 (1999-05-19) * Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 33 *	1-10	
A	EP 1 057 519 A (KEMIRA METALKAT OY) 6. Dezember 2000 (2000-12-06) * Abbildung 1 *	1-10	
A	EP 1 217 196 A (ISUZU MOTORS LTD) 26. Juni 2002 (2002-06-26) * Zusammenfassung *	1-10	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 04, 30. April 1997 (1997-04-30) & JP 08 319820 A (HINO MOTORS LTD), 3. Dezember 1996 (1996-12-03) * Zusammenfassung *	1-10	
A	EP 0 758 713 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 19. Februar 1997 (1997-02-19) * Spalte 2, Zeile 34 - Spalte 3, Zeile 22 *	1-10	B01D F01N B01J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	17. Dezember 2003	Faria, C	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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	
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			

EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

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

EP 03 40 5512

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

17-12-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
GB 2313796	A	10-12-1997	DE	69701525 D1	27-04-2000
			DE	69701525 T2	20-07-2000
			EP	0902861 A1	24-03-1999
			WO	9747863 A1	18-12-1997
			JP	2001509853 T	24-07-2001
EP 0916389	A	19-05-1999	JP	3237611 B2	10-12-2001
			JP	11200844 A	27-07-1999
			EP	0916389 A1	19-05-1999
			US	6192675 B1	27-02-2001
EP 1057519	A	06-12-2000	FI	991133 A	19-11-2000
			EP	1057519 A1	06-12-2000
EP 1217196	A	26-06-2002	JP	2002188432 A	05-07-2002
			EP	1217196 A2	26-06-2002
			US	2002073694 A1	20-06-2002
JP 08319820	A	03-12-1996	JP	3250645 B2	28-01-2002
EP 0758713	A	19-02-1997	JP	9053442 A	25-02-1997
			DE	69612645 D1	07-06-2001
			DE	69612645 T2	18-04-2002
			EP	0758713 A1	19-02-1997
			US	5746989 A	05-05-1998

EPO FORM P/0461

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