

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
26. Oktober 2012 (26.10.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/143025 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01N 3/035 (2006.01) F02M 25/07 (2006.01)
F01N 3/28 (2006.01) F02D 41/02 (2006.01)
F01N 3/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/006123

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Dezember 2011 (07.12.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 017 486.9
19. April 2011 (19.04.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): DAIMLER AG [DE/DE]; Mercedesstrasse 137,
70327 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BALTHES, Ortwin
[DE/DE]; Lavendelweg 3, 74343 Sachsenheim (DE).
KEPPELER, Berthold [DE/DE]; Teckstrasse 45/6, 73277

Owen (DE). MÜLLER, Siegfried [DE/DE]; Neckarstrasse
6, 74379 Ingersheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPERATING METHOD FOR A MOTOR VEHICLE DIESEL ENGINE HAVING AN EXHAUST EMISSION CONTROL SYSTEM

(54) Bezeichnung : BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINEN KRAFTFAHRZEUG-DIESELMOTOR MIT EINER ABGASREINIGUNGSANLAGE

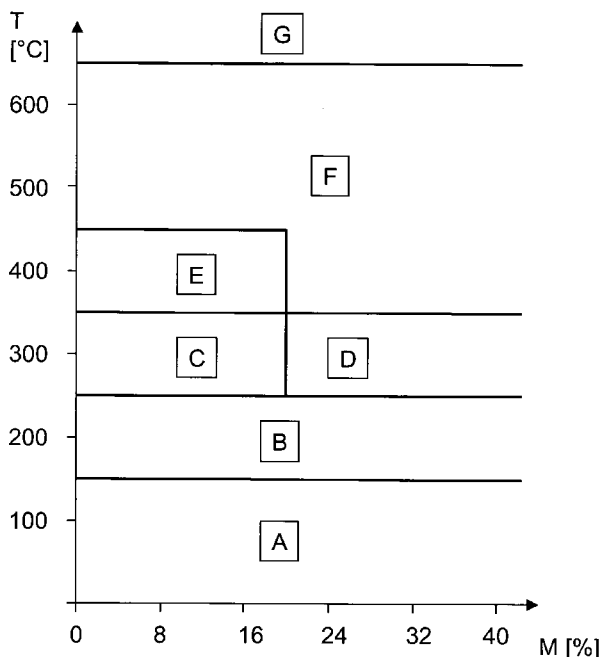


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to an operating method for a motor vehicle diesel engine having an exhaust emission control system comprising a three-way catalytic converter (34) and an SCR catalytic converter (36) arranged one after the other in the flow direction of the exhaust gas. In the method according to the invention, the diesel engine (1) is operated at least intermittently with an air-fuel ratio of approximately $\lambda = 1.0$ in a first operating range (C, D, E, F) in which the SCR catalytic converter (34) falls below a specifiable minimum temperature. In a second operating range (G) in which the SCR catalytic converter (34) exceeds the specifiable minimum temperature, the diesel engine (1) is operated with an air excess typical for normal diesel engine operation. According to the invention, an output signal of an exhaust gas sensor arranged downstream of the three-way catalytic converter (34) correlating to a NOx concentration of the exhaust gas is used to set the air-fuel ratio (λ) in the first operating range (C, D, E, F).

(57) Zusammenfassung:
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/143025 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für einen Kraftfahrzeug-Dieselmotor mit einer Abgasreinigungsanlage umfassend in Strömungsrichtung des Abgas hintereinander angeordnet einen Drei-Wege-Katalysator (34) und einen SCR-Katalysator (36). Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Dieselmotor (1) in einem ersten Betriebsbereich (C, D, E, F), in welchem der SCR-Katalysator (34) eine vorgebbare Mindesttemperatur unterschreitet, wenigstens zeitweise mit einem Luft-Kraftstoffverhältnis von etwa $\lambda = 1,0$ betrieben. In einem zweiten Betriebsbereich (G), in welchem der SCR-Katalysator (34) die vorgebbare Mindesttemperatur überschreitet, wird der Dieselmotor (1) mit einem für normalen Dieselmotorbetrieb typischen Luftüberschuss betrieben. Erfindungsgemäß wird zur Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses (λ) im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) ein mit einer NO_x-Konzentration des Abgases korrelierendes Ausgangssignal eines stromab des Drei-Wege-Katalysators (34) angeordneten Abgassensors herangezogen.

Betriebsverfahren für einen Kraftfahrzeug-Dieselmotor mit einer Abgasreinigungsanlage

Die Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für einen Kraftfahrzeug-Dieselmotor mit einer Abgasreinigungsanlage umfassend in Strömungsrichtung des Abgases hintereinander angeordnet einen Drei-Wege-Katalysator und einen SCR-Katalysator, bei welchem der Dieselmotor in einem ersten Betriebsbereich, in welchem der SCR-Katalysator eine vorgebbare Mindesttemperatur unterschreitet, wenigstens zeitweise mit einem Luft-Kraftstoffverhältnis von etwa $\lambda = 1,0$ betrieben wird, und in einem zweiten Betriebsbereich, in welchem der SCR-Katalysator die vorgebbare Mindesttemperatur überschreitet, mit einem für normalen Dieselmotorbetrieb typischen Luftüberschuss betrieben wird.

Aus der DE 10 2009 015 900 A1 ist ein gattungsgemäßes Betriebsverfahren bekannt, wobei allerdings nicht darauf eingegangen ist, auf welche Weise das für einen dieselmotorischen Betrieb untypische stöchiometrische Luft-Kraftstoffverhältnis von etwa $\lambda = 1,0$ eingestellt wird. Insbesondere bei einer vergleichsweise gering erwärmten Abgasreinigungsanlage hat sich dies als schwierig erwiesen, da hierfür oftmals eingesetzte Lambdasensoren verfälschte Messwerte liefern.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Betriebsverfahren anzugeben, welches eine genaue und zuverlässige Einstellung eines stöchiometrischen Luft-Kraftstoffverhältnisses von etwa $\lambda = 1,0$ insbesondere bei vergleichsweise gering erwärmter Abgasreinigungsanlage ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Danach wird zur Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses im ersten Betriebsbereich ein mit einer NO_x-Konzentration des Abgases korrelierendes Ausgangssignal eines stromab des Drei-Wege-Katalysators angeordneten Abgassensors herangezogen. Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass ein vom Drei-Wege-Katalysator bewirkter NO_x-Umsatz speziell in einem vergleichsweise engen

Bereich um das stöchiometrische Luft-Kraftstoffverhältnis von $\lambda = 1,0$ empfindlich vom Luft-Kraftstoffverhältnis abhängt. Infolge des erfindungsgemäß herangezogenen Ausgangssignals eines stromab vom Drei-Wege-Katalysator in der Abgasreinigungsanlage angeordneten Abgassensors, der ein mit einer NO_x-Konzentration des Abgases korrelierendes Ausgangssignal bereitstellt, kann somit eine Aussage über das Luft-Kraftstoffverhältnis gewonnen und dieses eingestellt werden.

In diesem Zusammenhang ist unter dem das Luft-Kraftstoffverhältnis charakterisierenden λ -Wert wie üblich ein Verhältnis von im Verbrennungsluft-Kraftstoffgemisch tatsächlich vorhandener Sauerstoffmenge zu der für eine vollständige Verbrennung des Kraftstoffes theoretisch mindestens erforderlichen Sauerstoffmenge zu verstehen. Ein mageres Luft-Kraftstoffgemisch mit einem Luftüberschuss weist daher einen λ -Wert von größer als eins auf. Ein fettes Luft-Kraftstoffgemisch mit einem Kraftstoffüberschuss weist hingegen einen λ -Wert von kleiner als eins auf. Bei Abwesenheit von Sauerstoff-Quellen oder -Senken im Abgassystem entspricht der Lambdawert im Abgas (Abgas- λ) dem Lambdawert des Luft-Kraftstoffgemisches (Verbrennungs- λ), mit welchem der Motor betrieben wird. Vereinfachend wird daher nachfolgend nur von einem λ -Wert oder kürzer λ gesprochen, wenn keine Differenzierung erforderlich ist.

Bei dem Drei-Wege-Katalysator handelt es sich um einen Katalysator, welcher in einem engen Bereich um $\lambda = 1,0$ sowohl Stickoxide (NO_x), als auch reduzierende Abgasbestandteile wie Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) aus dem Abgas entfernen kann. Katalysatorformulierungen mit oder ohne einer Sauerstoffspeicherfähigkeit, welche dieses leisten, sind dem Fachmann insbesondere aus Anwendungen betreffend die Abgasreinigung von Ottomotoren bekannt, weshalb hier nicht speziell darauf eingegangen wird. Bei dem Drei-Wege-Katalysator kann es sich auch um einen klassischen (Diesel)-Oxidationskatalysator handeln, welcher ein Katalysatormaterial mit den genannten Drei-Wege-Eigenschaften enthält. Als NO_x werden zusammenfassend zumindest die Stickstoffoxide NO und NO₂ verstanden.

Bei dem SCR-Katalysator handelt es sich um einen Katalysator, welcher NO_x unter oxidierenden Bedingungen, d.h. bei $\lambda > 1,0$, mittels Ammoniak (NH₃) selektiv und kontinuierlich reduzieren kann. Zwischen dem Drei-Wege-Katalysator und dem SCR-Katalysator ist bevorzugt ein Partikelfilter angeordnet.

Bei dem Abgassensor handelt es sich vorzugsweise um einen NO_x-Sensor. Dies schließt jedoch nicht aus, dass dieser Sensor außer dem mit der NO_x-Konzentration des Abgases

korrelierenden Ausgangssignal ein oder mehrere weitere Ausgangssignale zur Verfügung stellen kann, welche mit der Konzentration einer anderen Abgaskomponente wie z.B. Sauerstoff oder mit einem Abgaszustandsparameter wie beispielsweise der Abgastemperatur korrelieren.

Ein Übergang vom Betrieb bei $\lambda = 1,0$ zu einem normalen dieseltypischen Motorbetrieb mit Luftüberschuss ist vorgesehen, wenn der SCR-Katalysator eine vorgebbare Mindesttemperatur überschreitet. Bei dieser Mindesttemperatur handelt es sich bevorzugt um eine für einen vorgebbaren NO_x-Umsatz typische Katalysatortemperatur, die mit der so genannten Anspringtemperatur korreliert oder ihr entspricht. Die Katalysatortemperatur wird dabei direkt gemessen oder aus einer vor und/oder hinter dem Katalysator messtechnisch ermittelten oder berechneten Abgastemperatur ermittelt oder dieser gleichgesetzt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren mit Betrieb bei $\lambda = 1,0$ während einer Aufwärmphase der Abgasreinigungsanlage ist eine hohe NO_x-Verminderung bereits in dieser kritischen Betriebsphase, in welcher der SCR-Katalysator noch keinen oder jedenfalls keinen befriedigenden NO_x-Umsatz zeigt, ermöglicht. Die NO_x-Verminderung erfolgt dabei durch den Drei-Wege-Katalysator. Dies ist insbesondere zur Verminderung der im Anschluss an einen Kaltstart abgegebenen NO_x-Emissionen vorteilhaft.

Zur Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses im ersten Betriebsbereich ist es in Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass aus dem mit der NO_x-Konzentration korrelierenden Ausgangssignal des Abgassensors ein NO_x-Ist-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators ermittelt wird und eine dem Motor zugeführte Luftmenge und/oder Kraftstoffmenge solange verändert werden, bis der NO_x-Ist-Umsatz einen vorgebbaren NO_x-Soll-Umsatz wenigstens annähernd erreicht. Die Ermittlung des NO_x-Ist-Umsatzes erfolgt dabei durch Verrechnung einer NO_x-Rohemission des Motors mit dem mittels des Abgassensors ermittelten NO_x-Gehalt im Abgas stromab des Drei-Wege-Katalysators. Dabei wird bevorzugt auf abgespeicherte Kennlinien zurückgegriffen, welche eine NO_x-Rohemission des Motors für die jeweiligen Betriebsbedingungen wiedergeben. Die NO_x-Rohemission kann jedoch auch messtechnisch mittels eines geeigneten Sensors stromauf des Drei-Wege-Katalysators ermittelt werden. Infolge der λ -Abhängigkeit des NO_x-Umsatzes des Drei-Wege-Katalysator ist eine Einstellung eines bestimmten Luft-Kraftstoffverhältnisses über den NO_x-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators gezielt beeinflussende Parameter betreffend Luft- und/oder Kraftstoffzufuhr ebenso ermöglicht,

wie umgekehrt die Einstellung eines bestimmten NO_x-Umsatzes durch gezielte Beeinflussung des Luft-Kraftstoffverhältnisses.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird im ersten Betriebsbereich ein innerhalb eines vorgebbaren Zielbereichs liegender Zielwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis eingestellt. Der Zielwert liegt dabei bevorzugt in einem engen Bereich um $\lambda = 1,0$ oder einem daran angrenzenden Bereich. Bevorzugt ist ein Bereich von etwa $0,95 < \lambda < 1,05$. Besonders bevorzugt sind Zielbereiche mit von $0,97 < \lambda < 1,0$ bzw. $0,98 < \lambda < 1,05$. Dabei ist es in weiterer Ausgestaltung vorgesehen, dass ein innerhalb des Zielbereichs oszillierender Zielwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis eingestellt wird. Die Oszillationsfrequenz beträgt vorzugsweise etwa 5 Hz bis etwa 1 Hz. Auf diese Weise wird ein gutes Umsatzverhalten des Drei-Wege-Katalysators sowohl für CO und HC als auch für NO_x sichergestellt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird ein Vorsteuerwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis durch Abgabe einer für eine angeforderte Motorlast erforderlichen Kraftstoffeinspritzmenge und einer zu deren Verbrennung wenigstens annähernd erforderlichen Luftmenge vorgesteuert eingestellt und zur Einstellung des Zielwerts für das Luft-Kraftstoffverhältnis der Vorsteuerwert durch wenigstens eine die Motorlast wenigstens annähernd unbeeinflusst lassende späte Kraftstoffnacheinspritzung vermindert. Auf diese Weise ist eine genaue und ruckelfreie Einstellung des angestrebten Luft-Kraftstoffverhältnisses ermöglicht. Die Einstellung der für den λ -Vorsteuerwert vorgesehenen Luftmenge wird bevorzugt durch Anstellung einer in der Ansaugluftleitung des Motors angeordneten Drosselklappe in Verbindung mit einer Ladedruckregulierung und einer Inertgas- bzw. Abgasrückführmengeneinstellung auf vorgebbare Vorsteuerwerte vorgenommen. Die zur Einstellung der Motorlast erforderliche Kraftstoffeinspritzmenge kann dabei über eine oder mehrere, vor dem oberen Totpunkt vorgenommene Voreinspritzungen, über eine etwa am oberen Totpunkt vorgenommene Haupteinspritzung sowie gegebenenfalls eine oder mehrere, insbesondere drehmomentwirksame Nacheinspritzungen erfolgen. Vorgesehen ist vorzugsweise zumindest eine an die Haupteinspritzung angelagerte Nacheinspritzung. Der Vorsteuerwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis liegt dabei bevorzugt im mageren. Besonders bevorzugt ist ein Vorsteuerwert von $1,05 < \lambda < 1,20$, insbesondere von $1,10 < \lambda < 1,15$. Damit reichen vergleichsweise geringe, unproblematisch und drehmomentneutral einzustellende Änderungen aus, um den Zielwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses zu erreichen. Infolge der bevorzugt durch Messung mittels Luftmassenmesser bekannten Ansaugluftmenge und der bekannten

Einspritzmenge der drehmomentwirksamen Kraftstoffeinspritzungen ist die zur Erreichung des λ -Zielwerts erforderliche zusätzliche Kraftstoffnacheinspritzmenge ermittelbar.

Die zur Einstellung des genauen λ -Zielwerts eingesetzte wenigstens eine späte Nacheinspritzung ist nicht oder allenfalls gering drehmomentwirksam. Hierfür erfolgt diese bevorzugt bei Kurbelwinkeln von größer 80° nach dem oberen Totpunkt, wobei vorzugsweise die dem Motor zugeführte Luft- und Inertgasmenge unverändert bleibt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Zielbereich für das Luft-Kraftstoffverhältnis durch zugeordnete NOx-Soll-Umsatzwerte des Drei-Wege-Katalysators vorgegeben wird, wobei für die Zuordnung von Luft-Kraftstoffverhältnissen zu NOx-Soll-Umsatzwerten auf eine abgespeicherten NOx-Umsatzkennlinie zurückgegriffen wird, welche eine Abhängigkeit des NOx-Umsatzes vom Luft-Kraftstoffverhältnis für den Drei-Wege-Katalysator wiedergibt. Diese Kennlinie wird bevorzugt vorab ermittelt und in einem Steuergerät zur Steuerung des Motorbetriebs und/oder des Betriebs der Abgasreinigungsanlage abgelegt. Bevorzugt ist es, wenn NOx-Umsatzkennlinien für unterschiedlichste Bedingungen vorgehalten sind, so dass das aktuelle Umsatzverhalten des Drei-Wege-Katalysators stets als bekannt gelten kann. Dabei ist es vorteilhaft, eine im Laufe der Zeit eintretende Alterung abzuschätzen und die NOx-Umsatzkennlinie gegebenenfalls an eine alterungsbedingte Veränderung des NOx-Umsatzverhaltens anzupassen. Ebenfalls verfügbar im Steuergerät ist vorzugsweise ein Kennfeld, welches die aktuelle NOx-Rohemission des Motors zur Verfügung stellt. Anhand der somit bekannten NOx-Rohemission des Motors und der durch den Abgassensor messtechnisch erfassten NOx-Konzentration des Abgases hinter dem Drei-Wege-Katalysator ist der aktuelle NOx-Ist-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators und damit aus dessen NOx-Umsatzkennlinie das aktuelle Luft-Kraftstoffverhältnis ermittelbar. Durch entsprechende Veränderung bzw. Einstellung von dem Motor zugeführter Luft- und/oder Kraftstoffmenge ist ein angestrebtes Luft-Kraftstoffverhältnis daher dadurch einstellbar, dass der NOx-Ist-Umsatz dem entsprechenden NOx-Soll-Umsatz angenähert wird.

Dabei hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung von Zeit zu Zeit im zweiten Betriebsbereich eine Adaption des Zielbereichs für das Luft-Kraftstoffverhältnis vorgenommen wird, wobei ein aktueller NOx-Ist-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators ermittelt wird und weiter ein Korrekturwert für einen aktuell eingestellten Zielwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses derart ermittelt wird, dass der mit dem Korrekturwert korrigierte Zielwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses einem Luft-Kraftstoffverhältnis entspricht, welches durch die NOx-Umsatzkennlinie dem NOx-Ist-

Umsatz zuzuordnen ist. Es wird somit anhand des ermittelten NO_x-Umsatzes und der abgespeicherten NO_x-Umsatzkennlinie kontrolliert, ob ein einzustellender Lambdawert dem kennliniengemäß zu erwartenden λ -Wert auch tatsächlich entspricht. Abweichungen werden durch eine λ -Offsetkorrektur ausgeglichen. Dabei werden die Korrekturwerte bevorzugt in ein für alle maßgeblichen Betriebsbedingungen des ersten Betriebsbereichs für die λ -Einstellung heranzuziehendes Kennfeld geschrieben. Infolge der erfindungsgemäß vorgenommenen Adaption ist ein wirksamer Ausgleich von Drift- und/oder Alterungserscheinungen ermöglicht. Eine in Verbindung eines nachfolgenden Motorstarts bzw. –Warmlaufs erfolgende Einstellung eines Luft-Kraftstoffverhältnisses von etwa 1,0 ist somit in verbesserter und genauerer Weise ermöglicht. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Adaption unmittelbar oder zumindest kurze Zeit vor einer durchzuführenden thermischen Regeneration eines Partikelfilters vorgenommen wird. Für eine solche sind ohnehin ein vermindertes Luft-Kraftstoffverhältnis sowie eine erhöhte Abgastemperatur einzustellen, so dass einerseits ein zuverlässiger Betrieb des Abgassensors gewährleistet ist und andererseits praktisch kein zusätzlich erhöhter Kraftstoffverbrauch resultiert.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird im ersten Betriebsbereich innerhalb eines insbesondere ersten Temperaturbereichs für den Drei-Wege-Katalysator der Dieselmotor mit einem Heizbrennverfahren mit Luftüberschuss betrieben. Dadurch ist ein besonders rasches Aufwärmen des Drei-Wege-Katalysators ermöglicht. Bei diesem Heizbrennverfahren werden insbesondere vom Normalbetrieb abweichende Kraftstoffeinspritzbedingungen eingestellt, mit welchen im Vergleich zum Normalbetrieb höhere Abgastemperaturen erzeugt werden können. Als Temperatur des Drei-Wege-Katalysators ist dabei vorzugsweise eine vor oder hinter dem Drei-Wege-Katalysator messtechnisch erfasste Abgastemperatur oder eine im Katalysatorbett selbst ermittelte Temperatur als repräsentativ anzusehen.

Eine weitere Beschleunigung der Aufheizung der Abgasreinigungsanlage kann erzielt werden, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung im ersten Betriebsbereich innerhalb eines insbesondere zweiten Temperaturbereichs für den Drei-Wege-Katalysator ein dem Drei-Wege-Katalysator vorgeschaltetes elektrisches Heizelement bestromt wird. Als Heizelement kommt hierbei bevorzugt ein so genannter E-Kat infrage, welcher als scheibenförmiges, gegebenenfalls katalytisch beschichtetes und elektrisch beheizbares Metallträgerelement dem Drei-Wege-Katalysator unmittelbar vorgeschaltet ist. Dabei ist es besonders bevorzugt, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung ein Bestromen des elektrischen Heizelements vor Durchführen eines Motorstarts begonnen wird. Dadurch kann ein emissionsarmer Motorbetrieb besonders rasch erreicht werden bzw.

die Schadstoffemission beim Warmlauf besonders niedrig gehalten werden. Vorteilhaft ist es, wenn beim Startvorgang selbst, wenn von einem Anlasser elektrische Energie zum Andrehen des Motors benötigt wird, die Beheizung vorübergehend deaktiviert wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend in den Figurenbeschreibungen genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination sondern auch in anderen Kombinationen oder in der Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Die Figuren zeigen in:

Fig. 1 eine schematische Prinzipskizze eines Kraftfahrzeug-Dieselmotors mit einer vorteilhaften Ausführung einer daran angeschlossenen Abgasreinigungsanlage, bei welcher das erfindungsgemäße Verfahren zur Anwendung kommen kann,

Fig. 2 ein Diagramm mit einer schematischen Darstellung von Betriebsbereichen, bei welchen unterschiedliche Betriebsbedingungen vorgesehen sind und

Fig. 3 ein Diagramm mit einer beispielhaften NO_x-Umsatzkurve des Drei-Wege-Katalysators.

Figur 1 zeigt eine schematische Prinzipskizze einer vorteilhaften Ausführungsform eines Kraftfahrzeug-Dieselmotors 1 mit angeschlossener Abgasreinigungsanlage, bei welchem das weiter unten näher erläuterte Verfahren zur Anwendung kommen kann. Der Dieselmotor 1 weist vorliegend eine zweistufige Aufladung und eine zweistufige Abgasrückführung auf und umfasst einen Motorblock 2 mit Arbeitszylindern 3 mit nicht näher gekennzeichneten Brennräumen, wobei den Arbeitszylindern 3 bzw. deren jeweiligem Brennraum mittels einer Hochdruckpumpe 4 Kraftstoff zuführbar ist. Über ein Luftzufuhrsystem 5 kann den Arbeitszylindern 3 bzw. deren jeweiligem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt werden und über einen Abgastrakt 6 wird Abgas aus den Arbeitszylindern 3 abgeführt. Im Luftzufuhrsystem 5 sind ein Luftfilter 7, ein erster Verdichter 10 eines als Hochdruck-Abgasturbolader 11 ausgebildeten ersten Abgasturboladers, ein zweiter

Verdichter 8 eines als Niederdruck-Abgasturbolader 9 ausgebildeten zweiten Abgasturboladers, ein Ladeluftkühler 12 und eine Drosselklappe 13 angeordnet.

Im Abgastrakt 6 sind ausgehend vom Motorblock 2 in Strömungsrichtung des Abgases eine dem Hochdruck-Abgasturbolader 11 zugeordnete erste Turbine 14, eine dem Niederdruck-Abgasturbolader 9 zugeordnete zweite Turbine 15 und eine Abgasreinigungsanlage 16 angeordnet. Die Abgasreinigungsanlage 16 weist vorliegend einen Partikelfilter 35 zur Ausfilterung von Partikeln aus dem Abgas sowie einen vorgeschalteten Drei-Wege-Katalysator 34 auf. Ferner ist ein nicht dargestelltes elektrisches Heizelement unmittelbar vor dem Drei-Wege-Katalysator 34 vorgesehen. Der Drei-Wege-Katalysator 34 ist bevorzugt als so genannter Diesel-Oxidationskatalysator mit Drei-Wege-Katalysator-Funktion, insbesondere mit Metallfolien-Trägerkörper ausgebildet. Auch das elektrische Heizelement ist bevorzugt als beschichteter Metallfolien-Trägerkörper (so genannter E-Kat) ausgebildet. Der Partikelfilter 35 kann in Sintermetallausführung oder als wanddurchströmte Filtereinheit in Wabenkörperbauweise ausgebildet sein. Vorzugsweise ist für den Partikelfilter 35 eine katalytische Beschichtung, beispielsweise mit einem oxidationskatalytisch wirksamen Material und/oder mit einem SCR-Katalysatormaterial vorgesehen.

Vorliegend ist stromab des Partikelfilters 35 ein SCR-Katalysator 36 im Abgastrakt 6 angeordnet. Der SCR-Katalysator 36 ist zur Reduktion von Stickoxiden (NOx) mit insbesondere Ammoniak als selektivem Reduktionsmittel befähigt. Zur Anreicherung des Abgases mit Ammoniak ist stromauf des SCR-Katalysators 36 eine Zugabevorrichtung 38 vorgesehen, welche Ammoniak oder ein zur Abspaltung von Ammoniak befähigtes Reduktionsmittel wie beispielsweise Harnstoff-Wasserlösung, in den Abgastrakt 6 eindüsen kann. Zur Verbesserung einer Gleichverteilung kann ein nicht gesondert dargestellter nachgeschalteter Mischer im Abgastrakt 6 angeordnet sein. Im Falle eines mit einem SCR-Katalysator beschichteten Partikelfilters 35 kann die Zugabevorrichtung auch stromauf des Drei-Wege-Katalysators 34 oder zwischen dem Drei-Wege-Katalysators 34 und dem Partikelfilter 35 vorgesehen sein oder es kann dort eine zusätzliche NH₃-Zugabestelle vorgesehen sein.

Stromab des zweiten Verdichters 8 zweigt ein den Hochdruck-Abgasturbolader 11 umgehender Verdichterbypass 18 ab, in welchem ein Verdichterbypassventil 19 angeordnet ist, so dass mittels des zweiten Verdichters 8 komprimierte Frischluft bzw. ein Frischluft-Abgasgemisch, abhängig von einem Betriebszustand des Motors 1 und einer

daraus resultierenden Stellung des Verdichterbypassventils 19 den ersten Verdichter 10 in mehr oder weniger großem Umfang passieren kann. Auf diese Weise ist ein Ladedruck des Motors 1 regelbar bzw. bei niedrigen Drehzahlen des Motors 1, bei welchen der Hochdruck-Abgasturbolader 11 aufgrund eines zu geringen Abgasdrucks noch nicht betreibbar ist, der erste Verdichter 10 über den Verdichterbypass 18 umgehbar.

Im Abgastrakt 6 sind ebenfalls Bypässe 20, 21 angeordnet, welche jeweils eine Turbine 14, 15 umgehen, nämlich ein erster Turbinenbypass 20, in welchem ein erstes Turbinenbypassventil 22 angeordnet ist und ein zweiter Turbinenbypass 21, in welchem ein zweites Turbinenbypassventil 23 angeordnet ist. Bei niedrigen Drehzahlen des Motors 1 und daraus folgend einem niedrigen Abgasdruck ist der Hochdruck-Abgasturbolader 11 noch nicht betreibbar, daher ist in diesem Betriebszustand das erste Turbinenbypassventil 22 derart ansteuerbar, dass ein Abgasmassenstrom über den ersten Turbinenbypass 20 an der ersten Turbine 14 vorbei leitbar ist und so vollständig zum Antrieb der zweiten Turbine 15 des Niederdruck-Abgasturboladers 9 nutzbar ist.

Bei sehr hohen Drehzahlen des Motors 1 ist der auf die Turbinen 14, 15 der Abgasturbolader 9, 11 einwirkende Abgasdruck hoch, wodurch diese hohe Drehzahlen erreichen. Daraus folgt eine hohe Verdichterleistung der Verdichter 8, 10 der Abgasturbolader 9, 11 und dadurch ein hoher Ladedruck des Frischluft-Abgasgemisches. Dieser darf jedoch einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten, so dass bei Erreichen dieses vorgegebenen Wertes ein oder beide Turbinenbypässe 20, 21 als so genanntes Wastegate nutzbar sind. Dabei sind die Turbinenbypassventile 22, 23 derart ansteuerbar, dass sie beispielsweise teilweise öffnen, wodurch ein Teil des Abgasmassenstroms an den Turbinen 14, 15 vorbei leitbar und dadurch der auf die Turbinen 14, 15 einwirkende und diese antreibende Abgasdruck verringerbar ist. Daraus resultiert eine geringere Kompression des durch die Verdichter 8, 10 der Abgasturbolader 9, 11 verdichteten Gases, d. h. ein geringerer Ladedruck.

Mittels dieser Anordnung des Niederdruck-Abgasturboladers 9 und des Hochdruck-Abgasturboladers 11 ist eine Leistung des Motors 1 in unterschiedlichen Drehzahlbereichen optimierbar und ein jeweils optimaler Ladedruck bereitstellbar. Dadurch ist insbesondere ein so genanntes Turboloch, d. h. ein fehlender oder geringer Ladedruck und daraus resultierend eine geringe Leistung eines derartigen Motors 1 in niedrigen Drehzahlbereichen verhinderbar oder dieses Problem zumindest deutlich reduzierbar und

damit beispielsweise ein Fahrverhalten und ein Treibstoffverbrauch eines durch diesen Motor 1 angetriebenen Fahrzeugs optimierbar.

Stromab des Partikelfilters 35 und stromauf von der Zugabevorrichtung 38, d. h. auf einer Niederdruckseite des Abgastrakts 6, zweigt vom Abgastrakt 6 eine Niederdruck-Abgasrückführungs-(AGR)-Leitung 24 ab, die stromauf des zweiten Verdichters 8 des Niederdruck-Abgasturboladers 9 und stromab des Luftfilters 7 wieder in das Luftzufuhrsystem 5 mündet. Mittels einer im Abgastrakt 6 angeordneten Abgasaufstauklappe 17 ist die Menge bzw. der Anteil von über die Niederdruck-Abgasrückführleitung 24 rückgeführtem Abgas beeinflussbar. Obschon vorliegend hinter der Abzweigestelle der Niederdruck-Abgasrückführleitung 24 angeordnet dargestellt, kann die Abgasaufstauklappe 17 auch hinter dem SCR-Katalysator 36 angeordnet sein.

In der Niederdruck-AGR-Leitung 24 ist stromab von der Abzweigung vom Abgastrakt 6 in Strömungsrichtung eines Niederdruck-AGR-Massenstroms gesehen ein Niederdruck--AGR-Kühler 25 und ein Niederdruck-AGR-Ventil 26 angeordnet. Optional kann die Kühlung des Niederdruck-AGR-Massenstroms unter Entfall des Niederdruck-AGR-Kühlers 25 über die verwendeten Rohrlängen oder Rohrgestaltungen erfolgen. Die Kühlung des Niederdruck-AGR-Massenstroms stellt sicher, dass an den Verdichtern 8, 10 im Abgasrückführungsbetrieb keine unzulässig hohen Temperaturen auftreten.

In der Niederdruck-AGR-Leitung 24 kann stromauf des Niederdruck-AGR-Kühlers 25 ein nicht dargestellter zweiter SCR-Katalysator vorgesehen sein. Dieser ermöglicht eine Verminderung von im rückgeführten Abgas gegebenenfalls vorhandenem Stickoxid und/oder Ammoniak bzw. Sauerstoff. Dadurch werden wiederum Ablagerungen und Korrosionserscheinungen vermieden oder vermindert und es ist ein verbesserter Ablauf der in den Brennräumen des Motors 1 erfolgenden Kraftstoffverbrennung ermöglicht. Der zweite SCR-Katalysator kann darüber hinaus eine Filterfunktion übernehmen, so dass zumindest vergleichsweise grobe Partikel aus dem über den Niederdruckpfad rückgeführten Abgas entfernt werden. Ferner können stromauf und/oder stromab des Drei-Wege-Katalysators 34 bzw. des Partikelfilters 35 ein oder mehrere weitere reinigungswirksame Abgasnachbehandlungskomponenten, wie beispielsweise ein weiterer Oxidationskatalysator, ein SCR-Katalysator und/oder ein Stickoxid-Speicherkatalysator im Abgastrakt 6 angeordnet sein, was nicht gesondert dargestellt ist. Insbesondere ist es bevorzugt, wenn stromab des SCR-Katalysators 36 eine oxidationskatalytisch wirksame

Abgasreinigungskomponente angeordnet ist, mittels welcher ein Ammoniakslupf des SCR-Katalysators 36 aus dem Abgas entfernt werden kann.

Stromauf der Turbine 14 des Hochdruck-Abgasturboladers 11, d. h. auf einer Hochdruckseite des Abgastrakts 6, zweigt von einem Abgaskrümmmer 33 des Abgastrakts 6 eine Hochdruck-AGR-Leitung 27 ab, die stromab der Drosselklappe 13 in das Luftzufuhrsystem 5 mündet. Mittels dieser Hochdruck-AGR-Leitung 27 ist ein Hochdruck-AGR-Massenstrom über ein Hochdruck-AGR-Ventil 28 in das Luftzufuhrsystem 5 leitbar. In der dargestellten Ausführungsform ist in der Hochdruck-AGR-Leitung 27 ein Hochdruck-AGR-Kühler 29 angeordnet, welcher gegebenenfalls mit dem Niederdruck-AGR-Kühler 25 baulich und/oder funktionell vereinigt sein kann. Optional kann jedoch eine Kühlung des Hochdruck-AGR-Massenstroms beispielsweise auch über eine Rohrlänge der Hochdruck-AGR-Leitung 27 erfolgen. Für den Niederdruck-AGR-Kühler 25 und/oder den Hochdruck-AGR-Kühler 29 können Umgehungsleitungen, insbesondere mit Einstellmitteln zur variablen Durchsatzeinstellung vorgesehen sein, was nicht gesondert dargestellt ist.

Der dargestellte Dieselmotor 1 weist somit eine Abgasrückführung auf, bei der Abgas stromauf der Turbine 14 des Hochdruck-Abgasturboladers 11 über einen entsprechenden Hochdruckpfad sowie stromab der Abgasreinigungseinheit 16 über einen entsprechenden Niederdruckpfad dem Abgastrakt 6 entnehmbar ist und, gegebenenfalls nach Abkühlung, stromauf des Verdichters 8 des Niederdruck-Abgasturboladers 9 sowie stromab der Drosselklappe 13 des Luftzufuhrsystems 5 und damit den Brennräumen 3 zuführbar ist. Der Motor 1 ist dabei wahlweise ohne Abgasrückführung, mit Hochdruck-Abgasrückführung oder Niederdruck-Abgasrückführung oder gleichzeitig mit Hochdruck-Abgasrückführung und Niederdruck-Abgasrückführung mit jeweils variablen Abgasrückführungsmengen betreibbar. Somit ist den Brennräumen 3 ein Verbrennungsgas mit einer in weiten Grenzen veränderbaren Abgasrückführtrate mit variablem Niederdruckanteil und variablem Hochdruckanteil zuführbar. Eine Einstellung einer Abgasrückführungsmenge, d. h. des rückgeführten Abgasmassenstromes und damit der AGR-Rate, erfolgt mittels der Abgasaufstauklappe 17 und/oder des Niederdruck-AGR-Ventils 26 sowie mittels des Hochdruck-AGR-Ventils 28 als Einstellmitteln, womit der Niederdruckanteil sowie der Hochdruckanteil des insgesamt rückgeführten Abgases ebenfalls in weiten Grenzen einstellbar sind. Dies erzielt insgesamt saubere Abgasrückführungsmassenströme, eine bessere Abkühlung der Abgasrückführungsmassenströme, vermeidet Versottung der

Abgasrückführungskühler 25, 29 und ermöglicht eine gute Durchmischung der Abgasrückführungsmassenströme mit Frischluft im Luftzufuhrsystem 5. Es sind hohe Abgasrückführungsraten möglich und es ist ein homogener oder zumindest teilhomogener Betrieb der Brennkraftmaschine 1 möglich.

Die Abgasaufstauklappe 17 und das Niederdruck-AGR-Ventil 26 sind vorliegend Stellglieder einer als Vorsteuerregelung ausgeführten Abgasrückführungsregelung. Sowohl das Niederdruck-AGR-Ventil 26 wie auch die Abgasaufstauklappe 17 sind vorzugsweise kontinuierlich verstellbar. Mit Hilfe der Abgasaufstauklappe 17 und des Niederdruck-AGR-Ventils 26 vor dem Verdichter 8 ist der Niederdruckanteil am gesamten Abgasrückführungsmassenstrom einstellbar und letzterer somit ebenfalls beeinflussbar. Solange ein ausreichendes Druckgefälle zur Förderung des Niederdruck-Abgasrückführungsmassenstroms vorhanden ist, ist dieser zunächst ausschließlich über das Niederdruck-AGR-Ventil 26 einstellbar. Ist dies nicht mehr der Fall, ist zusätzlich die Abgasaufstauklappe 17 etwas anstellbar, um das Druckgefälle über das Niederdruck-AGR-Ventil 26 zu erhöhen. Dabei ist eine sehr gute Durchmischung des Niederdruck-Abgasrückführungsmassenstroms mit der Frischluft sichergestellt. Ein weiterer Vorteil besteht unter anderem darin, dass das über den Niederdruckpfad rückgeführte Abgas sauber und nahezu pulsationsfrei ist. Zusätzlich steht eine erhöhte Verdichterleistung zur Verfügung, da bei einem hohen Niederdruckanteil rückgeführten Abgases ein vergleichsweise hoher Abgasmassenstrom durch die Turbinen 14, 15 leitbar ist. Da das rückgeführte Abgas nach den Verdichtern 8, 10 durch den leistungsfähigen Ladeluftkühler 12 leitbar ist, kann die Temperatur des Frischluft und Abgas umfassenden Verbrennungsgases auch relativ kalt gehalten werden. Die Brennkraftmaschine 1 ist je nach Bedarf sowohl mit der Hochdruck-Abgasrückführung als auch mit der Niederdruck-Abgasrückführung oder mit beiden betreibbar.

Mittels eines vorzugsweise vorgesehenen, den Ladeluftkühler 12 umgehenden Ladeluftkühlerbypasses 30 im Luftzufuhrsystem 5, ist eine Versottung des Ladeluftkühlers 12 vermeidbar. Die Gefahr einer so genannten Versottung besteht beispielsweise, wenn ein Wasserdampf und gegebenenfalls Partikel enthaltendes Gasgemisch im Ladeluftkühler 12 unter den Taupunkt abgekühlt wird und Kondensatbildung eintritt.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das gesamte Frischluft-Abgasgemisch oder auch nur ein Teil davon über den Ladeluftkühlerbypass 30, welcher stromauf des Ladeluft-

kühlers 12 abzweigt, an dem Ladeluftkühler 12 vorbei geleitet werden kann, wodurch es durch den Ladeluftkühler 12 nicht kühlbar ist und daher die Temperatur nicht unter den Taupunkt abfällt. Um sicherzustellen, dass das Frischluft-Abgasgemisch, wenn nötig, d.h. bei hohen Temperaturen des Frischluft-Abgasgemisches, weiterhin mittels des Ladeluftkühlers 12 effektiv kühlbar ist, ist stromab der Verdichter 8, 10 und stromauf des Ladeluftkühlers 12 im Luftzufuhrsystem 5 ein Temperatursensor 31 angeordnet, so dass bei Erreichen einer vorgegebenen Temperatur ein im Ladeluftkühlerbypass 30 angeordnetes Ladeluftkühlerbypassventil 32 entsprechend ansteuerbar ist und daraufhin dieses Ladeluftkühlerbypassventil 32 beispielsweise vollständig öffnet oder vollständig schließt oder in einer weiteren Ausführungsform teilweise öffnet.

Für einen optimalen Betrieb des Motors 1 und des Abgasnachbehandlungssystems 16 sind vorzugsweise weitere Sensoren im Abgastrakt 6 sowie im Luftzufuhrsystem 5 vorgesehen, was der Übersichtlichkeit halber nicht näher dargestellt ist. Es können Temperatur- und/oder Drucksensoren ausgangsseitig des Abgaskrümmers 33, in den Turbinenbypässen 20, 21, eingangs- und/oder ausgangsseitig oder innerhalb der vorzugsweise als kompakte Einheit ausgebildeten Kombination von Dreibege-Katalysator 34 und Partikelfilter 35 Abgasreinigungsmoduls, eingangs- und/oder ausgangsseitig des SCR-Katalysators 36, eingangs- und/oder ausgangsseitig des Luftfilters 7, eingangs- und ausgangsseitig der Verdichter 8, 10, in den Abgasrückführungsleitungen 24, 27 und gegebenenfalls an weiteren Stellen angeordnet sein, um die Temperatur- und Druckverhältnisse zu erfassen. Vorzugsweise ist ferner ein Luftmassenstromsensor stromab des Luftfilters 7 vorgesehen, um den Frischluftmassenstrom zu erfassen. Weiterhin sind vorzugsweise Abgassensoren im Abgastrakt 6, wie beispielsweise eine Lambdasonde im Abgaskrümmen 33 und vor und/oder nach dem Drei-Wege-Katalysator 34 bzw. dem Partikelfilter 35 angeordnet, vorgesehen. Vor allem ist erfindungsgemäß ein bevorzugt als NO_x-Sensor ausgebildeter Abgas-Sensor zwischen dem Partikelfilter und der Zugabevorrichtung 38 bzw. der Abzweigung der Niederdruck-AGR-Leitung 24 vorgesehen. Der NO_x-Sensor kann ein mit einer NO_x-Konzentration des Abgases korrelierendes Ausgangssignal und gegebenenfalls weitere Ausgangssignale, insbesondere ein mit dem Abgas- λ korrelierendes Ausgangssignal abgeben. Daneben kann ein ebenfalls nicht gesondert dargestellter NO_x-Sensor ausgangsseitig des SCR-Katalysators 36 vorgesehen sein.

Die Signale der vorhandenen Sensoren sind von einem nicht dargestellten Steuergerät verarbeitbar, welches anhand der Signale und gespeicherten Kennlinien und Kennfelder Betriebszustände des Motors 1 allgemein, insbesondere im Abgastrakt 6 und im Luftzufuhrsystem 5 ermitteln und durch Ansteuerung von Stellgliedern gesteuert und/oder geregelt einstellen kann. Insbesondere sind Abgasrückführmassenströme im Nieder- und Hochdruckpfad sowie ein Lastzustand des Motors 1 in Bezug auf Drehmoment bzw. Mitteldruck sowie Drehzahl ermittel- bzw. einstellbar. Weiterhin sind Kraftstoffeinspritzparameter wie Anzahl der Kraftstoffeinspritzungen je Arbeitszyklus sowie deren Einspritzdruck, -Dauer und -Zeitpunkt einstellbar.

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf im Diagramm von Fig. 2 gekennzeichnete Betriebsbereiche das erfindungsgemäße Betriebsverfahren näher beschrieben. Dabei sind die mit A bis G bezeichneten Betriebsbereiche durch Werte für eine Temperatur T sowie für eine auf eine Nennlast bezogene Motorlast M , beispielsweise gegeben als effektiver Mitteldruck p_{me} , definiert. Die Temperatur T ist dabei eine unmittelbar hinter dem Drei-Wege-Katalysator 34 auftretende Temperatur im Abgastrakt 6, welche vorzugsweise mittels eines Temperaturfühlers erfasst und als maßgebend für die Temperatur des Drei-Wege-Katalysators 34 angesehen wird. Bei der nachfolgenden Erläuterung wird ohne Einschränkung der Allgemeinheit beispielhaft davon ausgegangen, dass die mit A bis G benannten Betriebsbereiche in alphabetischer Reihenfolge, ausgehend von einem Motorkaltstart bei Temperaturen des Motors 1 und der Abgasreinigungsanlage 16 von 30 °C oder niedriger eingenommen werden. Dabei wird ferner davon ausgegangen, dass abgesehen vom Betriebsbereich G eine Temperatur des SCR-Katalysators 36 oder eine unmittelbar vor oder hinter dem SCR-Katalysator 36 messbare Abgastemperatur 200 °C noch nicht überschritten ist.

Nach einem Motorkaltstart ist die Abgasreinigungsanlage 16 noch kalt und wärmt sich erst durch Wärmeaufnahme infolge Durchströmung mit Abgas mehr oder weniger erhöhter Temperatur auf. In dem durch eine Temperatur $T < 150$ °C sowie eine den gesamten Lastbereich abdeckende Motorlast M gekennzeichneten Betriebsbereich A wird zur raschen Erwärmung der Abgasreinigungsanlage 16 und insbesondere des Drei-Wege-Katalysators 34 das unmittelbar eingangsseitig des Drei-Wege-Katalysators 34 angeordnete elektrische Heizelement bestromt. Die Bestromung kann mit Beginn eines autarken Motorselbstlaufs begonnen werden. Bevorzugt ist es jedoch, wenn die Bestromung bereits vor dem Motorstart begonnen wird. Als Trigger hierfür kann dabei eine Erkennung einer Türschlossbetätigung oder einer Fahrersitzbelegung oder einer Gurtschlossverriegelung vorgesehen sein. Weiterhin wird nach erfolgtem Motorstart der

Motor 1 dieseltypisch mit Luftüberschuss, jedoch mit einem speziellen Heizbrennverfahren betrieben, welches im Vergleich zum normalen Dieselmotorbetrieb eine erhöhte Abgastemperatur zur Folge hat. Im Heizbrennverfahren ist die Kraftstoffhaupteinspritzung auf etwa 3° KWnOT bis 7° KWnOT (Ansteuerbeginn) nach spät verlagert und die Haupteinspritzmenge zugunsten der Menge der angelagerten Nacheinspritzung vermindert. Zusätzlich kann eine Absenkung des Einspritzdrucks vorgesehen sein. Weiterhin sind ein oder zwei Voreinspritzungen vor dem oberen Totpunkt vorgesehen. Charakteristischerweise unterbleibt eine nicht vollständig verbrennende Nacheinspritzung um erhöhte HC-/CO-Emissionen zu vermeiden, welche infolge temperaturbedingter mangelnder Aktivität des Drei-Wege-Katalysator 34 resultieren würden.

Eine solche Nacheinspritzung, vorzugsweise bei Kurbelwinkeln des Ansteuerbeginns von mehr als 80° nOT, erfolgt jedoch zusätzlich zu den im Betriebsbereich A vorgesehenen Maßnahmen im Betriebsbereich B. Wie in Fig. 2 dargestellt, ist der Betriebsbereich B durch eine Temperatur im Bereich $150\text{ °C} < T < 250\text{ °C}$ und eine den gesamten Lastbereich abdeckende Motorlast M gekennzeichnet. In diesem Betriebsbereich ist bereits ein mehr oder weniger starker HC-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators 34 ermöglicht. Infolge der dabei freiwerdenden Reaktionswärme erwärmt sich dieser rasch und die Aktivität nimmt daher ebenfalls rasch zu.

Bei weiterer Erwärmung des Drei-Wege-Katalysators 34 auf einen Temperaturbereich von $250\text{ °C} < T < 350\text{ °C}$ werden, je nach Motorlast M, die Betriebsbereiche C und D erreicht. Dabei ist der Betriebsbereich C zusätzlich durch eine Motorlast M von weniger als 20 % und der Betriebsbereich D durch eine Motorlast M von mehr als 20 % der Nennlast gekennzeichnet. In den Betriebsbereichen C und D bleibt die Bestromung des elektrischen Heizelements vorzugsweise aktiv. Infolge der fortgeschrittenen Erwärmung des Drei-Wege-Katalysators 34 ist dieser in den Betriebsbereichen C und D in Bezug auf seine Drei-Wege-Funktion betriebsbereit und der Motor 1 wird auf einen Betrieb mit einem Verbrennungs- λ von etwa 1,0 umgestellt. Dabei wird ein in einem Zielbereich zwischen einem unteren und einem oberen Grenzwert oszillierender Zielwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis λ eingestellt. Als unterer Grenzwert ist im Betriebsbereich C ein Verbrennungs- λ von 0,97 und im Betriebsbereich D von 0,98 vorgesehen. Als obere Grenzwerte werden 1,0 bzw. 1,05 im Betriebsbereich C bzw. D eingestellt. Infolge des etwas niedrigeren Mittelwerts des Verbrennungs- λ im Betriebsbereich C ist dort eine CH₄- bzw. N₂O-Emission in vorteilhafter Weise vermindert.

Nachfolgend wird die erfindungsgemäß vorgesehene Vorgehensweise bei der Einstellung des Verbrennungs- λ von etwa 1,0 näher erläutert. Hierzu wird auf eine in Fig. 3 schematisch wiedergegebene NO_x-Umsatzkurve des Drei-Wege-Katalysators 34 Bezug genommen. Diese gibt lediglich beispielhaft eine für den maßgeblichen Betriebsbereich abgespeicherte λ -Abhängigkeit des NO_x-Umsatzes des Drei-Wege-Katalysators 34 wieder. Beispielhaft ist ein λ -Zielbereich $\Delta\lambda$ im von $0,98 < \lambda < 1,05$ eingetragen. Diesem entspricht vorliegend ein Zielbereich für den NO_x-Umsatz zwischen 43 % und 94 % Zur Einstellung des λ -Zielwerts im λ -Zielbereich $\Delta\lambda$ wird zunächst ein Vorsteuerwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis im Bereich zwischen $\lambda = 1,10$ und $\lambda = 1,15$ eingestellt. Hierfür werden die Luftzufuhrmenge und Abgasrückführmenge auf betriebspunktabhängige Vorsteuerwerte durch Betätigung der Drosselklappe 13, Stellmittel für die Abgasturbo-lader 9, 11 sowie die AGR-Ventile 26, 28 eingestellt und die für den λ -Vorsteuerwert erforderliche Kraftstoffmenge über die Summe aus Voreinspritzung, Haupteinspritzung und angelagerter Nacheinspritzung eingestellt. Typischerweise wird die Drosselklappe auf Werte zwischen 70 % und 95 %, eine Ladedruckklappe auf Werte zwischen 5 % bis 45 % und ein Wastegate auf Werte zwischen 25 % und 45 % geschlossen. Bevorzugt wird das Hochdruck-AGR-Ventil 28 ganz geschlossen und die Abgasrückführmenge durch Betätigung des Niederdruck-Abgasrückführventils 26 und der Abgasaufstauklappe 17 eingestellt. Durch Absetzung einer berechneten Vorsteuer-Menge einer späten, nicht drehmomentwirksamen Nacheinspritzung bei einem Kurbelwinkel von $> 80^\circ$ nOT erfolgt eine Anfettung zur Erreichung des λ -Zielwerts. Dessen genauer Wert wird durch Errechnung des NO_x-Ist-Umsatzes des Drei-Wege-Katalysators 34 und Rückgriff auf die NO_x-Umsatzkurve ermittelt. Zur Errechnung des NO_x-Ist-Umsatzes wird die kennfeldmäßig abgespeicherte NO_x-Rohemission des Motors mit der durch den Abgassensor hinter dem Drei-Wege-Katalysator 34 messtechnisch ermittelten NO_x-Konzentration des Abgases verrechnet. Durch schrittweise Erhöhung bzw. Verminderung der spät eingespritzten Kraftstoffmenge wird eine Erhöhung bzw. Verminderung des gemessenen NO_x-Umsatzes derart bewirkt, dass dieser einen Sollwert innerhalb des Zielbereichs annimmt und daher der λ -Zielwert innerhalb des λ -Zielbereichs liegt. Dabei erfolgt ein oszillierendes Überstreichen des λ -Zielbereichs mit einer Frequenz zwischen 1 und 5 Hz.

Eine Verbesserung der Genauigkeit der Nacheinspritzmengen-Einstellung ist durch eine Adaption ermöglicht, welche von Zeit zu Zeit, bevorzugt jeweils kurz vor einer angeforderten thermischen Partikelfilterregeneration erfolgt. Dabei wird ausgehend von einem Betrieb des Motors 1 mit Luftüberschuss analog der oben beschriebenen Vorgehensweise ein λ -Wert eingestellt, der einem vorgebbaren λ -Zielwert im λ -Zielbereich $\Delta\lambda$ entsprechen sollte. Durch Ermittlung des NO_x-Ist-Umsatzes und Rückgriff auf die NO_x-

Umsatzkurve wird der zugehörige λ -Istwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses ermittelt. Werden Abweichungen vom λ -Zielwert festgestellt, so wird ein Korrekturwert derart ermittelt, dass dessen Addition zum λ -Zielwert den λ -Istwert ergibt. Durch diese Adaption ist die Genauigkeit einer zu einem späteren Zeitpunkt erfolgenden Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses von etwa $\lambda = 1,0$ verbessert.

Nachfolgend werden unter erneuter Bezugnahme auf das in Fig. 2 dargestellte Diagramm die Einstellungen der weiter vorgesehenen Betriebsbereiche erläutert. Dabei wird bei weiterer Erwärmung des Drei-Wege-Katalysators 34 mit einer ausgangsseitig gemessenen Temperatur von $350\text{ °C} < T < 450\text{ °C}$ und einer Motorlast $M < 20\%$ der Betriebsbereich E erreicht. Die hier vorgenommenen Einstellungen entsprechen mit Ausnahme des deaktivierten Heizelements denen des Betriebsbereichs C. Dabei ist analog zum Betriebsbereich C durch die im Vergleich zum Betriebsbereich D etwas fettere λ -Abstimmung eine Lachgas- und/oder Methanbildung am Drei-Wege-Katalysator 34 weitgehend vermeidbar. In dem sich zu höheren Temperaturen bis $T = 650\text{ °C}$ bzw. höheren Motorlasten M anschließenden Betriebsbereich F sind, wiederum abgesehen vom deaktivierten Heizelement, die Einstellungen des Betriebsbereichs D vorgesehen. Oberhalb einer Temperatur von $T = 650\text{ °C}$ wird im Betriebsbereich G der Motor 1 normal, d.h. mit einem für dieselmotorischen Betrieb typischen Luftüberschuss betrieben, da hier davon ausgegangen wird, dass der SCR-Katalysator 34 eine Temperatur von wenigstens 180 °C überschritten hat und betriebsbereit ist.

Es versteht sich, dass die vorstehend beschriebenen Betriebsbereiche A bis G nicht notwendigerweise in ihrer alphabetischen Reihenfolge eingenommen werden müssen. Abhängig vom Fahrbetrieb und damit verbunden abhängig von Abgastemperatur und Abgasmassenstrom können die Betriebsbereiche A bis G vielmehr im Wechsel und zeitlich verteilt erreicht werden.

Im Rahmen der beschriebenen Vorgehensweise ist es zudem bevorzugt vorgesehen, eine im Laufe der Zeit eintretende, alterungsbedingte Umsatzeinbuße des Drei-Wege-Katalysators 34 abzuschätzen. In Korrelation zur ermittelten Alterung werden die Temperaturgrenzen, welche die Betriebsbereiche A bis G voneinander abgrenzen, angehoben. Dies ist insbesondere für die Temperaturgrenzen zwischen den Betriebsbereichen A und B sowie B und C bzw. D vorgesehen.

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für einen Kraftfahrzeug-Dieselmotor mit einer Abgasreinigungsanlage umfassend in Strömungsrichtung des Abgases hintereinander angeordnet einen Drei-Wege-Katalysator (34) und einen SCR-Katalysator (36), bei welchem der Dieselmotor (1) in einem ersten Betriebsbereich (C, D, E, F), in welchem der SCR-Katalysator (34) eine vorgebbare Mindesttemperatur unterschreitet, wenigstens zeitweise mit einem Luft-Kraftstoffverhältnis von etwa $\lambda = 1,0$ betrieben wird, und in einem zweiten Betriebsbereich (G), in welchem der SCR-Katalysator (34) die vorgebbare Mindesttemperatur überschreitet, mit einem für normalen Dieselmotorbetrieb typischen Luftüberschuss betrieben wird, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses (λ) im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) ein mit einer NO_x-Konzentration des Abgases korrelierendes Ausgangssignal eines stromab des Drei-Wege-Katalysators (34) angeordneten Abgassensors herangezogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung des Luft-Kraftstoffverhältnisses (λ) im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) aus dem mit der NO_x-Konzentration korrelierenden Ausgangssignal des Abgassensors ein NO_x-Ist-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators (34) ermittelt wird und eine dem Motor (1) zugeführte Luftmenge und/oder Kraftstoffmenge solange verändert werden, bis der NO_x-Ist-Umsatz einen vorgebbaren NO_x-Soll-Umsatz wenigstens annähernd erreicht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) ein innerhalb eines vorgebbaren Zielbereichs ($\Delta\lambda$) liegender Zielwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) eingestellt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein innerhalb des Zielbereichs ($\Delta\lambda$) oszillierender Zielwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) eingestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Vorsteuerwert für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) durch Abgabe einer für eine angeforderte Motorlast (M) erforderlichen Kraftstoffeinspritzmenge und einer zu deren Verbrennung wenigstens annähernd erforderlichen Luftmenge vorgesteuert eingestellt wird und zur Einstellung des Zielwerts für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) der Vorsteuerwert durch wenigstens eine die Motorlast (M) wenigstens annähernd unbeeinflusst lassende späte Kraftstoffnacheinspritzung vermindert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Zielbereich ($\Delta\lambda$) für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) durch zugeordnete NO_x-Soll-Umsatzwerte des Drei-Wege-Katalysators (34) vorgegeben wird, wobei für die Zuordnung von Luft-Kraftstoffverhältniswerten (λ) zu NO_x-Soll-Umsatzwerten auf eine abgespeicherten NO_x-Umsatzkennlinie zurückgegriffen wird, welche eine Abhängigkeit des NO_x-Umsatzes vom Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) für den Drei-Wege-Katalysator (34) wiedergibt
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass von Zeit zu Zeit im zweiten Betriebsbereich eine Adaption des Zielbereichs ($\Delta\lambda$) für das Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) vorgenommen wird, wobei ein aktueller NO_x-Ist-Umsatz des Drei-Wege-Katalysators (34) ermittelt wird und weiter ein Korrekturwert für einen aktuell eingestellten Zielwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses (λ) derart ermittelt wird, dass der mit dem Korrekturwert

korrigierte Zielwert des Luft-Kraftstoffverhältnisses (λ) einem Luft-Kraftstoffverhältnis (λ) entspricht, welches durch die NO_x-Umsatzkennlinie dem NO_x-Ist-Umsatz zuzuordnen ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) innerhalb eines insbesondere ersten Temperaturbereichs für den Drei-Wege-Katalysator (34) der Dieselmotor (1) mit einem Heizbrennverfahren mit Luftüberschuss betrieben wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Betriebsbereich (C, D, E, F) innerhalb eines insbesondere zweiten Temperaturbereichs für den Drei-Wege-Katalysator (34) ein dem Drei-Wege-Katalysator (34) vorgeschaltetes elektrisches Heizelement bestromt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bestromen des elektrischen Heizelements vor Durchführen eines Motorstarts begonnen wird.

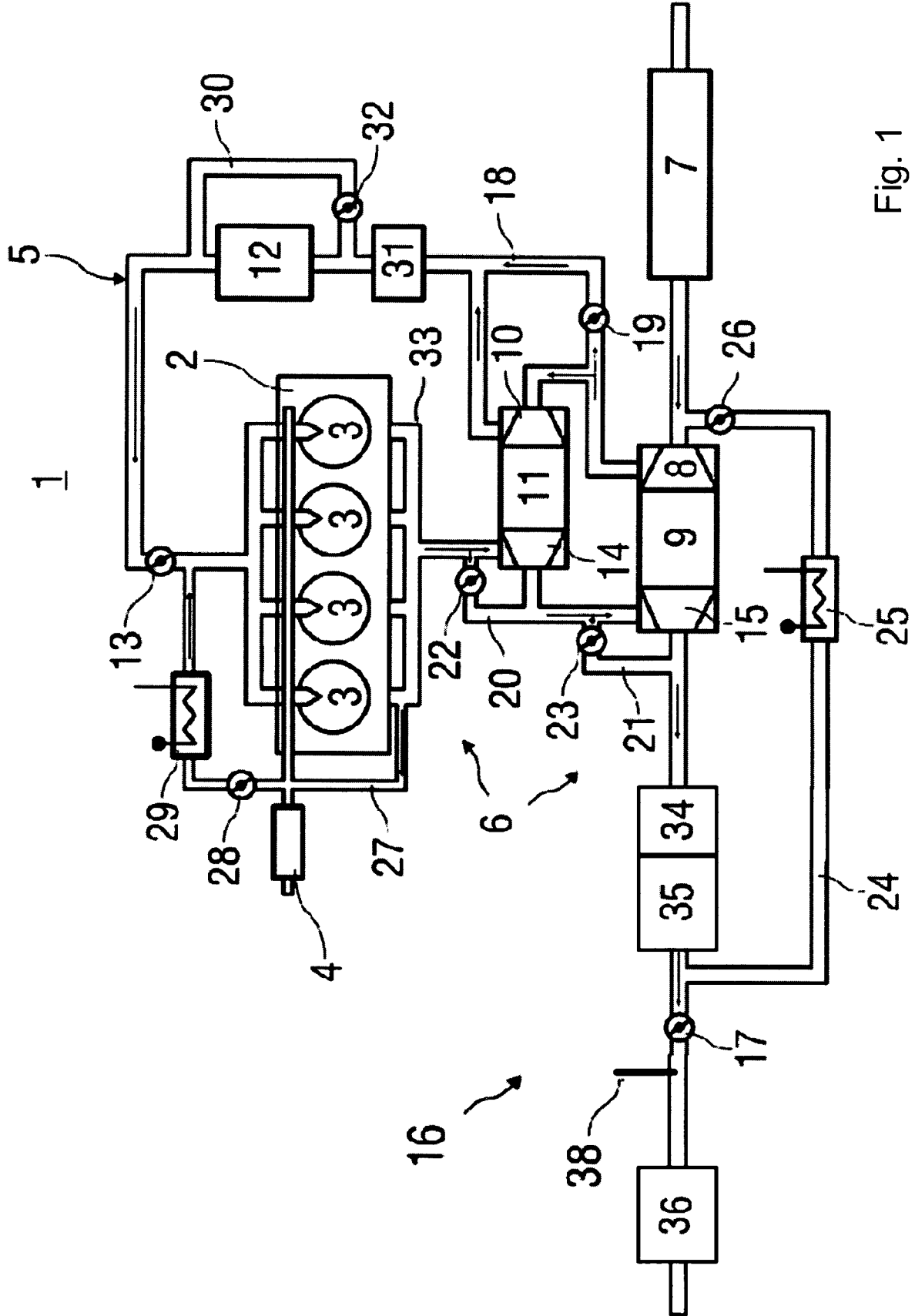


Fig. 1

2/3

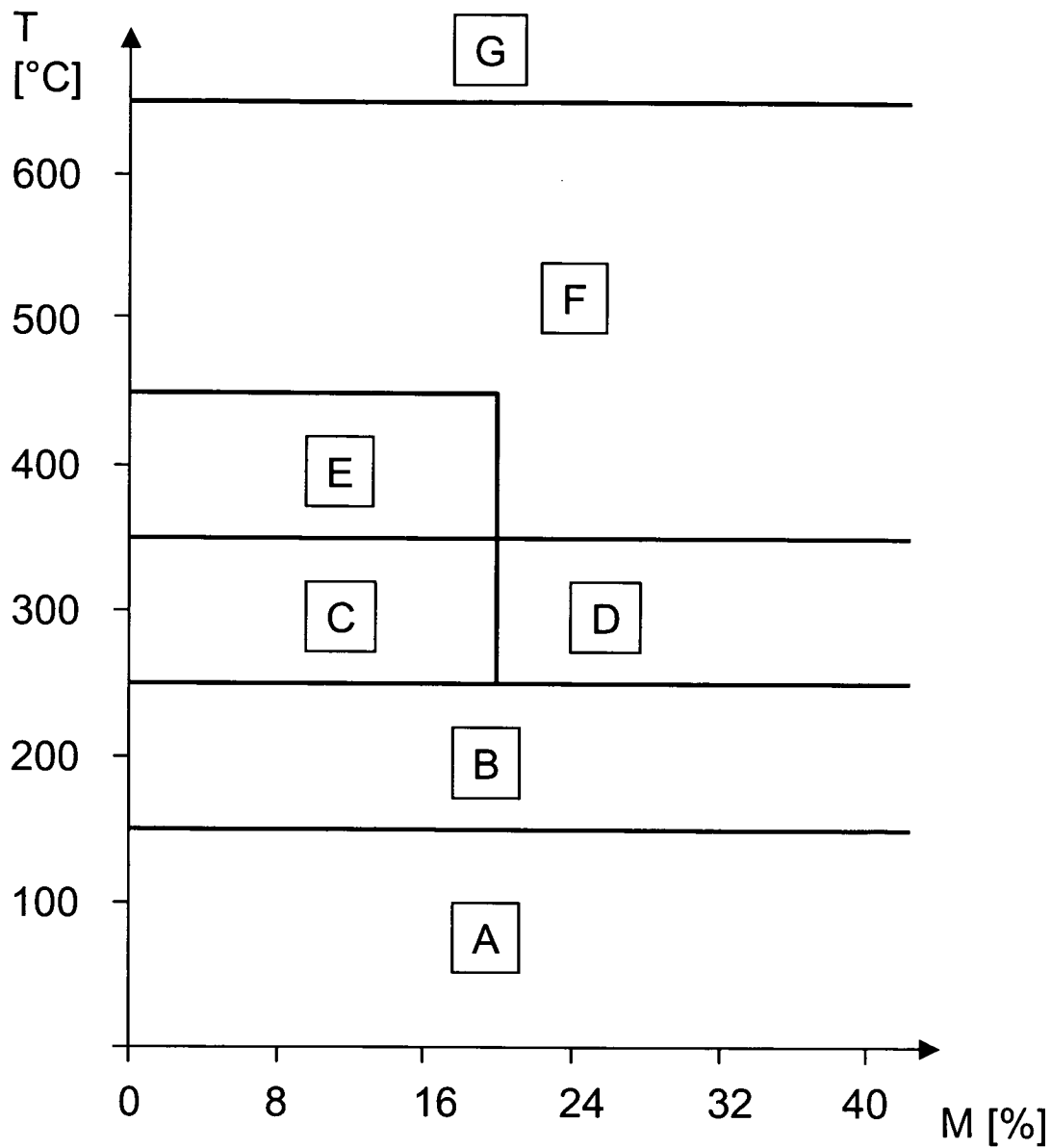


Fig. 2

3/3

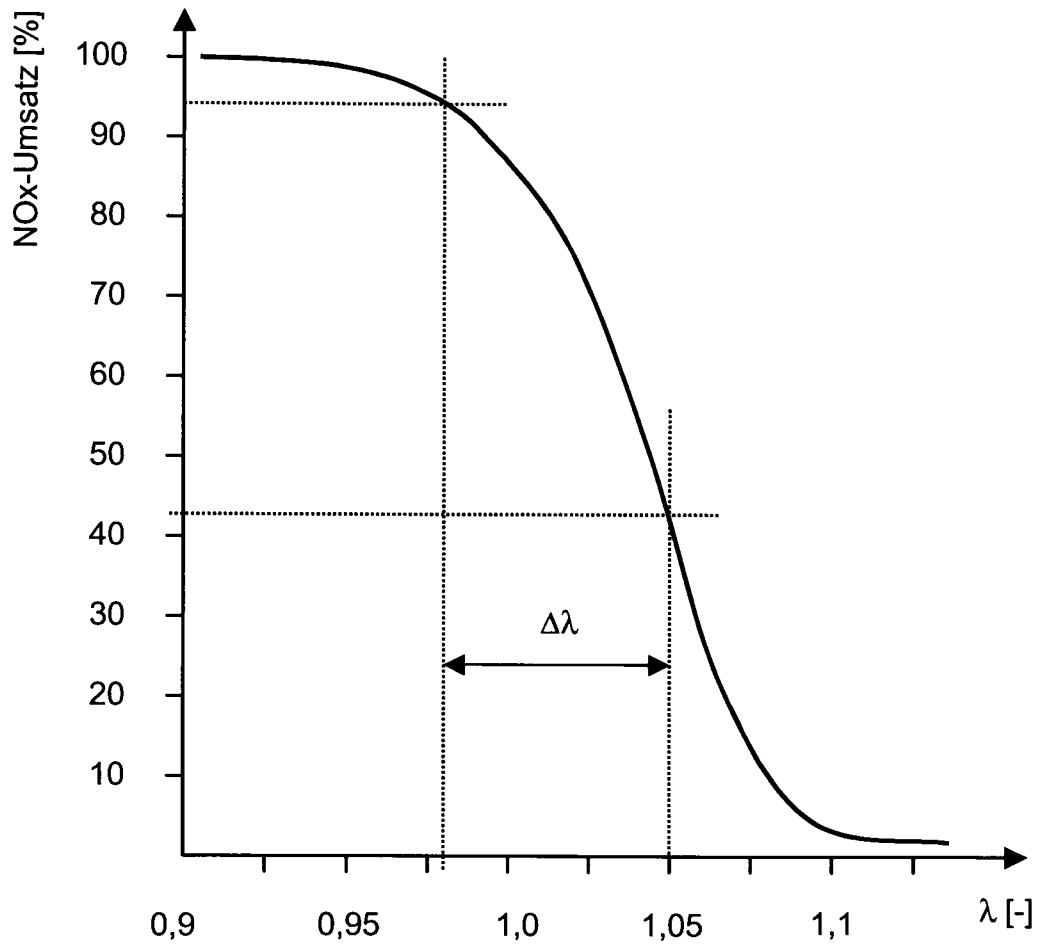


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/006123

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F01N3/035 F01N3/28 F01N3/20 F02M25/07 F02D41/02
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F01N F02M F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2009/134831 A2 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 5 November 2009 (2009-11-05) paragraph [0023] paragraph [0037] - paragraph [0038] paragraph [0050] paragraph [0057]; claim 14; figures 1,6 -----	1-10
A	DE 10 2005 022420 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 14 June 2006 (2006-06-14) the whole document -----	1-10
A	US 2009/133383 A1 (SHOST MARK A [US]) 28 May 2009 (2009-05-28) the whole document -----	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 March 2012

Date of mailing of the international search report

26/03/2012

Name and mailing address of the ISA/
 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Calabrese, Nunziante

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/006123

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009134831 A2	05-11-2009	CN 102084096 A	01-06-2011
		DE 112009001034 T5	09-06-2011
		US 2009276439 A1	05-11-2009
		US 2009276547 A1	05-11-2009
		US 2010107605 A1	06-05-2010
		WO 2009134831 A2	05-11-2009

DE 102005022420 A1	14-06-2006	NONE	

US 2009133383 A1	28-05-2009	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/006123

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F01N3/035 F01N3/28 F01N3/20 F02M25/07 F02D41/02
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F01N F02M F02D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2009/134831 A2 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 5. November 2009 (2009-11-05) Absatz [0023] Absatz [0037] - Absatz [0038] Absatz [0050] Absatz [0057]; Anspruch 14; Abbildungen 1,6	1-10
A	DE 10 2005 022420 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 14. Juni 2006 (2006-06-14) das ganze Dokument	1-10
A	US 2009/133383 A1 (SHOST MARK A [US]) 28. Mai 2009 (2009-05-28) das ganze Dokument	1-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
16. März 2012	26/03/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Calabrese, Nunziante
--	---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/006123

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009134831 A2	05-11-2009	CN 102084096 A	01-06-2011
		DE 112009001034 T5	09-06-2011
		US 2009276439 A1	05-11-2009
		US 2009276547 A1	05-11-2009
		US 2010107605 A1	06-05-2010
		WO 2009134831 A2	05-11-2009

DE 102005022420 A1	14-06-2006	KEINE	

US 2009133383 A1	28-05-2009	KEINE	
