

(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  
29. September 2016 (29.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2016/150553 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*F02D 41/02* (2006.01) *F01N 3/20* (2006.01)  
*F01N 3/08* (2006.01) *F02D 41/14* (2006.01)  
*F01N 3/10* (2006.01) *F02D 35/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/000419

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. März 2016 (09.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 205 125.0 20. März 2015 (20.03.2015) DE

(71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH**  
[DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **HAAS, Christoph**; Karlstr. 30, 88045  
Friedrichshafen (DE). **DUMSER, Frederic**; Mollenberg  
12, 88138 Hergensweiler (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,  
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,  
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

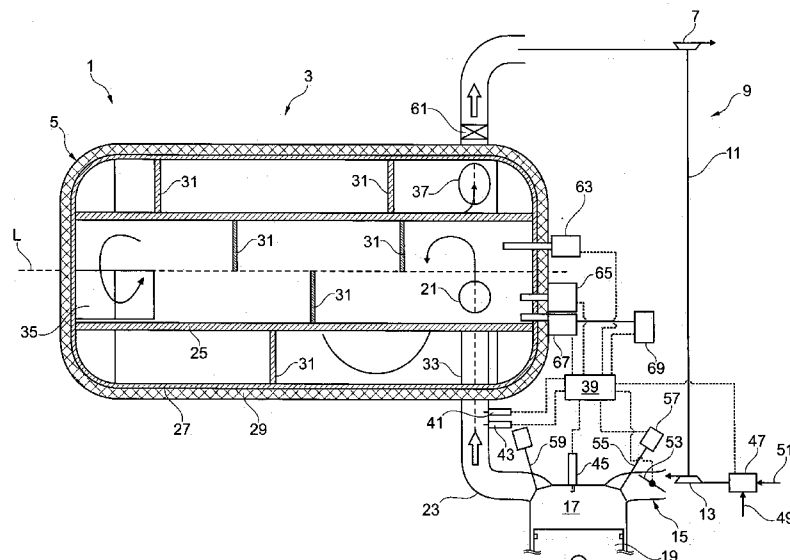
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,  
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,  
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,  
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,  
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,  
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STEUERN EINER BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine (1) which comprises a reactor (5) for the oxidation of hydrocarbon molecules in the exhaust system (3). According to the invention, at least one operational parameter of the internal combustion engine (1) is adjusted in accordance with at least one reaction parameter of the reactor (5).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), die in einem Abgasstrang (3) einen Reaktor (5) zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (1) in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors (5) eingestellt wird.



WO 2016/150553 A1

## BESCHREIBUNG

5

## VERFAHRNE UND VORRICHTUNG ZUM STEUERN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine und eine Brennkraftmaschine.

- 10 Beim Betrieb von Brennkraftmaschinen ergibt sich grundsätzlich das Problem einer Emission von unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Bei Gasmotoren, die mit methanhaltigem Brenngas betrieben werden, wird hauptsächlich klimaschädliches Methan emittiert, was auch als Methanschlupf bezeichnet wird. Dabei zeigt sich, dass sich insbesondere kürzerkettige Kohlenwasserstoffe und ganz besonders Methan als stabiles Molekül im Vergleich zu
- 15 höherwertigen oder längerkettigen Kohlenwasserstoffen nur schwer an Katalysatoren umsetzen lassen. Hinzu kommt, dass solche Katalysatoren empfindlich auf Katalysatorgifte reagieren, insbesondere auf Schwefel, sodass sie nur in geringem Maße zur Verwendung bei Brennkraftmaschinen geeignet sind, die mit schwefelhaltigen Sondergasen, wie beispielsweise Deponiegas, Produktgas aus der Holzvergasung, oder Biogas, betrieben werden. Weiterhin
- 20 unterliegen solche Katalysatoren einer thermischen Alterung, wodurch der Umsatz an Kohlenwasserstoff mit der Zeit signifikant verringert wird. Darüber hinaus zeigt sich, dass eine katalytische Umsetzung insbesondere von Methan einen hohen Aufwand bedingt, da hierfür geeignete Katalysatoren eine hohe Edelmetallbeladung aufweisen müssen und hohe Temperaturen benötigen. Insgesamt sind daher bisher bekannte Betriebsverfahren sowie auch
- 25 Brennkraftmaschinen in Hinblick auf die Kohlenwasserstoff-Emissionen und eine diesbezügliche Abgasnachbehandlung verbesserungswürdig. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine sowie eine Brennkraftmaschine zu schaffen, wobei die genannten Nachteile nicht auftreten.
- 30 Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine geschaffen wird, wobei die Brennkraftmaschine in einem Abgasstrang einen

Reaktor aufweist, der eingerichtet ist zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors eingestellt wird. In dem Reaktor können sowohl höherkettige Kohlenwasserstoffe als auch insbesondere kurzket-  
5 Kohlenwasserstoffe und ganz besonders Methan sehr effizient und vorzugsweise vollständig oxidiert werden.

Dabei ist der Reaktor vorzugsweise als Gasphasen-Reaktor ausgebildet. Dies bedeutet insbesondere, dass der Reaktor eingerichtet ist zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen  
10 in einer Gasphasenreaktion. Der Reaktor ist insbesondere nicht als Katalysator ausgebildet, wobei an einem Katalysator oberflächengebundene Reaktionen stattfinden, und keine Gasphasenreaktionen. Bei einem Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass der Reaktor frei ist von einem Katalysatormaterial, insbesondere von jeglichem Katalysatormaterial. Der Reaktor ist aufgrund seiner Eigenschaft als Gasphasen-Reaktor nicht angewiesen auf einen katalytischen  
15 Mechanismus. Es ist aber auch ein Ausführungsbeispiel möglich, bei welchem der Reaktor zusätzlich ein Katalysatormaterial aufweist, insbesondere um einen Umsatz an Kohlenwasserstoffen noch über die reine Gasphasenreaktion hinaus zu erhöhen.

Durch den Reaktor bedarf es also keines Katalysators zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen  
20 mehr, wobei gegebenenfalls zusätzlich ein – dann allerdings im Vergleich zu einer Bauweise ohne den Reaktor deutlich verkleinerter – Katalysator vorgesehen sein kann.

Indem wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors eingestellt wird, kann stets gewährleistet  
25 werden, dass Kohlenwasserstoffe und insbesondere Methan wirksam in dem Reaktor umgesetzt werden, sodass die Brennkraftmaschine deutlich verringerte und besonders bevorzugt keine Kohlenwasserstoff-Emissionen mehr aufweist. Dabei sind keine Vergiftung und auch keine Alterung von Katalysatormaterial zu befürchten. Die mit dem Verfahren betriebene Brennkraftmaschine ist daher insbesondere auch für den Betrieb mit Sondergasen, insbesondere  
30 mit schwefelhaltigen Sondergasen, insbesondere Deponiegas, Produktgas aus der Holzvergasung, und/oder Biogas geeignet. Sie kann aber auch als Dieselmotor oder in anderer geeigneter Weise ausgebildet sein.

Der Reaktor ist vorzugsweise stromaufwärts einer Turbine eines Abgasturboladers der Brennkraftmaschine angeordnet. Dies hat den Vorteil, dass hier noch eine vergleichsweise hohe Abgastemperatur gegeben ist, welche die Reaktion in dem Reaktor begünstigt. Der Reaktor ist zusätzlich vorzugsweise stromabwärts eines Brennraums der Brennkraftmaschine und  
5 insbesondere brennraumnah angeordnet, wobei die in dem Reaktor herrschenden Abgastemperaturen umso höher sein können, je näher der Reaktor an einem Brennraum der Brennkraftmaschine angeordnet ist.

Vorzugsweise ist der Reaktor als Reaktionsgefäß ausgebildet, welches durch das Abgas  
10 durchströmt wird, sodass in dem Reaktionsgefäß eine Gasphasenreaktion stattfinden kann. Dabei weist der Reaktor vorzugsweise wenigstens ein Schikaneelement auf, das insbesondere als Umlenkblech ausgebildet sein kann. Hierdurch wird der Strömungspfad durch den Reaktor für das Abgas erhöht und somit zugleich eine Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor verlängert und eine Durchmischung der verschiedenen Stoffe im Abgas verbessert. Dies begünstigt eine  
15 möglichst vollständige Oxidation von Kohlenwasserstoffen.

Vorzugsweise wird der Betrieb der Brennkraftmaschine im Rahmen des Verfahrens – insbesondere betriebspunktabhängig – in wenigstens einer ersten Betriebsart auf eine optimale Gasphasenreaktion der Kohlenwasserstoffe in dem Reaktor optimiert. Der wenigstens eine  
20 Betriebsparameter der Brennkraftmaschine wird demnach bevorzugt in Abhängigkeit von dem wenigstens einen Reaktionsparameter des Reaktors so eingestellt, dass in dem Reaktor möglichst optimale Bedingungen für die Gasphasenreaktion der Kohlenwasserstoffe, mithin insbesondere deren Oxidation, herrschen. Es ist auf diese Weise möglich, eine nahezu vollständige oder vollständige Oxidation der Kohlenwasserstoffe in dem Reaktor zu gewährleisten.

25 Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei welcher vorgesehen ist, dass der wenigstens eine Reaktionsparameter durch eine Variation des wenigstens einen Betriebsparameters geregelt wird. Es wird also vorzugsweise ein Regelverfahren angewendet, mit dem die Bedingungen in dem Reaktor und insbesondere der wenigstens eine  
30 Reaktionsparameter so eingestellt wird/werden, dass Kohlenwasserstoffe, vorzugsweise Methan, mit einem vorbestimmten Umsatz – insbesondere abgestimmt auf einen momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine – in dem Reaktor oxidiert werden.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der wenigstens eine Reaktionsparameter ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einer Abgastemperatur, einem Abgasdruck, einem Abgasmassenstrom, einer Kohlenwasserstoff-Konzentration im Abgas, insbesondere einer Methankonzentration im Abgas, einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas, einer Stickstoffmonoxid-Konzentration im Abgas, einer Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas, und einem Verhältnis einer Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas zu einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas. Vorzugsweise wird eine Mehrzahl dieser Reaktionsparameter in dem Verfahren verwendet, wobei grundsätzlich beliebige Kombinationen möglich sind. Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel werden als Reaktionsparameter die Abgastemperatur und die Gesamtstickoxid-Konzentration verwendet.

Dabei ist es möglich, dass wenigstens ein erster Reaktionsparameter direkt gemessen wird. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass wenigstens ein zweiter Reaktionsparameter simuliert oder – insbesondere anhand eines Modells – berechnet wird. Die Abgastemperatur als Reaktionsparameter kann beispielsweise stromaufwärts – bevorzugt unmittelbar stromaufwärts – des Reaktors oder auch in dem Reaktor gemessen werden. Ebenso kann der Abgasdruck stromaufwärts des Reaktors – vorzugsweise unmittelbar stromaufwärts des Reaktors oder auch in dem Reaktor, gemessen werden. Auch Konzentrationen bestimmter Stoffe im Abgas, insbesondere eine Gesamt-Stickoxid-Konzentration, können mittels eines geeigneten Sensors direkt gemessen werden. Der Abgasmassenstrom kann vorzugsweise simuliert oder – insbesondere anhand eines Modells – berechnet werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, andere Größen, insbesondere Konzentrationen bestimmter Stoffe im Abgas, zu simulieren oder – insbesondere anhand eines Modells – zu berechnen.

Die Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor ist insbesondere abhängig von dem Abgasdruck, dem Abgasmassenstrom, und/oder der Abgastemperatur, sowie von einer – konstanten oder veränderlichen – Länge eines Strömungspaths für das Abgas in dem Reaktor. Die Verweilzeit ist vorzugsweise gegeben durch das Volumen des Reaktors geteilt durch den Volumenstrom des Abgases durch den Reaktor, und daher eine Funktion von Druck, Massenstrom, und Temperatur des Abgases. Der Umsatz von Kohlenwasserstoffen und insbesondere Methan in dem Reaktor hängt insbesondere von der Verweilzeit, der Temperatur in dem Reaktor, dem Druck in dem Reaktor, und den Konzentrationen verschiedener Stoffe im Abgas, insbesondere einer Stickoxid-Konzentration, ab. Durch die Einstellung des Betriebsparameters der Brennkraftmaschine wird

vorzugsweise wenigstens eine dieser Bedingungen, besonders bevorzugt eine Mehrzahl dieser Bedingungen oder sogar alle Bedingungen, so eingestellt, dass sich ein optimaler oder benötigter Umsatz von Kohlenwasserstoffen, vorzugsweise ein vollständiger Umsatz derselben, ergibt.

- 5 Der benötigte Kohlenwasserstoff-Umsatz hängt dabei zum einen von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ab, weil nämlich eine Kohlenwasserstoff-Emission derselben und insbesondere ein Methanschlupf betriebspunktabhängig sein kann. Zum anderen hängt der benötigte Kohlenwasserstoff-Umsatz aber auch von gesetzlichen Bestimmungen an einem Ort ab, an welchem die Brennkraftmaschine betrieben wird. Je nach Vorschriften in Hinblick auf
- 10 erlaubte Kohlenwasserstoff-Emissionsgrenzwerte ist es nötig, in dem Reaktor einen höheren oder einen geringeren Umsatz an Kohlenwasserstoffen zu erzielen. Hierauf kann sowohl der Reaktor selbst als auch die Verfahrensführung, insbesondere die Abhängigkeit des wenigstens einen Betriebsparameters von dem wenigstens einen Reaktionsparameter abgestimmt werden.
- 15 Es wird insbesondere eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der wenigstens eine Betriebsparameter ein Verbrennungsparameter ist. Es handelt sich demnach vorzugsweise um einen Parameter, welcher eine Verbrennung in einem Brennraum der Brennkraftmaschine bestimmt, insbesondere einen Brennverlauf. Der wenigstens eine Betriebsparameter ist besonders bevorzugt ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus
- 20 einem Zündzeitpunkt, einem Brennstoffmassenstrom, und einem Verbrennungsluft-Brennstoff-Verhältnis, das allgemein auch als Lambda-Wert bezeichnet wird. Mit dem Brennstoffmassenstrom wird der Betriebs-, Last- oder Leistungspunkt der Brennkraftmaschine, sowie in Kombination mit dem Verbrennungsluft-Brennstoff-Verhältnis der Massenstrom des Abgases eingestellt. Wenigstens einer dieser Parameter, vorzugsweise alle diese Parameter,
- 25 können variiert werden, um möglichst günstige Reaktionsbedingungen in dem Reaktor zu schaffen, wobei sie insbesondere in Abhängigkeit von dem wenigstens einen Reaktionsparameter variiert werden. Dabei hängt die spezifische Wahl des Betriebsparameters auch von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine ab. Daher wird der wenigstens eine Betriebsparameter vorzugsweise betriebspunktabhängig eingestellt. Insbesondere ist es möglich,
- 30 dass geeignete Werte für den wenigstens einen Betriebsparameter in wenigstens einem Kennfeld hinterlegt sind, wobei diese betriebspunktabhängig aus dem Kennfeld ausgelesen werden. Dabei gehen in das Kennfeld als Eingangswerte bevorzugt wenigstens ein den Betriebspunkt der Brennkraftmaschine charakterisierender Wert und der wenigstens eine Reaktionsparameter des Reaktors ein. Das Kennfeld spannt also einen Raum aus dem wenigstens einen

Betriebsparameter, wenigstens einem für den Betriebspunkt der Brennkraftmaschine charakteristischen Parameter, und dem wenigstens einen Reaktionsparameter auf, wobei insbesondere der wenigstens eine Betriebsparameter in Abhängigkeit von dem wenigstens einen für den Betriebspunkt der Brennkraftmaschine charakteristischen Parameter und dem wenigstens einen Reaktionsparameter in dem Kennfeld hinterlegt ist.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine dem Reaktor zugeordnete Heizeinrichtung angesteuert wird, um eine Temperatur in dem Reaktor zu erhöhen. Die Heizeinrichtung ist vorzugsweise eingerichtet, um die Temperatur in dem Reaktor zu erhöhen, und insbesondere an dem Reaktor angeordnet oder in den Reaktor integriert. Dabei kann es sich insbesondere um eine elektrische Heizeinrichtung oder um einen Brenner handeln, wobei der Brenner vorzugsweise mit dem Brennstoff betreibbar ist, der auch zum Betrieb der Brennkraftmaschine verwendet wird. Mithilfe der Heizeinrichtung ist es möglich, eine für den Kohlenwasserstoff-Umsatz in dem Reaktor optimale Temperatur auch dann einzustellen, wenn dies durch eine reine Variation des wenigstens einen Betriebsparameters der Brennkraftmaschine für sich genommen nicht möglich ist. Dies kann insbesondere in einem Teillastbereich oder in einem Niedriglastbereich der Brennkraftmaschine, beispielsweise im Leerlauf, der Fall sein. Hinreichende Umsätze von Kohlenwasserstoffen können dann auch für solche Betriebspunkte gewährleistet werden.

Es wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine Verweilzeit von Abgas in dem Reaktor eingestellt wird. Vorteilhaft hierbei ist, dass stets eine für ein angestrebtes Umsatzziel bezüglich der Kohlenwasserstoffe eine geeignete Verweilzeit gewährleistet werden kann. Dabei ist gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens vorgesehen, dass die Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor – insbesondere betriebspunktunabhängig – konstant gehalten wird. Damit kann vorzugsweise gewährleistet werden, dass die Verweilzeit stets für einen gewünschten Umsatz der Kohlenwasserstoffe lang genug ist. Gemäß einer anderen Ausführungsform des Verfahrens wird die Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor – insbesondere betriebspunktabhängig – variiert. Dies kann zum einen vorteilhaft sein, weil abhängig von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine mehr oder weniger Kohlenwasserstoffe emittiert werden, worauf die Verweilzeit dann flexibel angepasst werden kann, wobei zum anderen die Verweilzeit gegebenenfalls verkürzt werden kann, um ein abweichendes Regelungsziel zu verfolgen. Beispielsweise kann kurzfristig die Verweilzeit des Abgases reduziert werden, um im Dynamikfall ausreichend schnell einen hinreichenden

Abgasmassenstrom für die Turbine des Abgasturboladers zur Verfügung stellen zu können und so das Ansprechverhalten der Brennkraftmaschine bei einem Lastsprung zu verbessern. Es ist dann möglich, zumindest kurzzeitig von dem Ziel eines möglichst hohen Kohlenwasserstoff-Umsatzes abzuweichen.

5

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor eingestellt wird, indem ein Reaktorvolumen des Reaktors – vorzugsweise betriebspunktabhängig – verändert wird. Eine solche Veränderung des Reaktorvolumens kann insbesondere genutzt werden, um die Verweilzeit unabhängig von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine konstant zu halten, indem das Volumen beispielsweise bei höherem Abgasmassenstrom vergrößert und bei niedrigerem Abgasmassenstrom verringert wird. Selbstverständlich ist es aber auch möglich, die Verweilzeit durch entsprechende Veränderung des Reaktorvolumens zu variieren. Das Reaktorvolumen kann vorzugsweise mechanisch, insbesondere durch Änderung von wenigstens einer Abmessung des Reaktors, insbesondere einer Längenänderung desselben, oder durch Variation eines Strömungspfad in dem Reaktor, beispielsweise durch Sperren oder Freigeben einzelner Strömungspfade in dem Reaktor, variiert werden.

Es ist auch möglich, dass ein Bypass um den Reaktor vorgesehen ist, dessen Durchströmungsquerschnitt variiert werden kann. Dabei kann der Bypass insbesondere geöffnet werden, um im Dynamikfall einen möglichst hohen Abgasmassenstrom an dem Reaktor vorbei unmittelbar zu der Turbine des Abgasturboladers zu führen. Dementsprechend zweigt der Bypass vorzugsweise unmittelbar stromaufwärts des Reaktors aus dem Abgasstrang ab und mündet unmittelbar stromabwärts des Reaktors oder unmittelbar stromaufwärts der Turbine des Abgasturboladers wieder in den Abgasstrang.

Es wird eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass in den Reaktor ein Reduktionsmittel zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickoxiden eingedüst wird. Vorteilhaft hieran ist, dass der Reaktor somit zugleich als Mischstrecke für das Reduktionsmittel verwendet werden kann, sodass eine ansonsten übliche Mischstrecke in dem Abgasstrang eingespart wird. Der Abgasstrang kann dann insgesamt kürzer bauen und eine geringere Zahl von Komponenten aufweisen. Vorzugsweise wird als Reduktionsmittel eine Harnstoff-Wasser-Lösung in den Abgasstrom eingedüst.



Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass – insbesondere in wenigstens einer zweiten Betriebsart – ein an einem Ausgang des Reaktors vorliegendes Verhältnis einer Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas zu einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas eingestellt wird. Somit ist es möglich, gezielt den Stickoxid-Gehalt im Abgas durch

- 5 entsprechende Reaktionsführung in dem Reaktor zu beeinflussen. In der Gasphasenreaktion der Kohlenwasserstoffe stellt sich das Verhältnis der Stickstoffdioxid-Konzentration zu der Gesamt-Stickoxid-Konzentration entsprechend den Reaktionsbedingungen ein. Somit kann dieses auch durch Variation des wenigstens einen Betriebsparameters – insbesondere in Abhängigkeit von dem wenigstens einen Reaktionsparameter – beeinflusst werden.

10

Dabei wird vorzugsweise dieses Verhältnis betriebspunktabhängig oder abhängig von einem momentanen Regelungsziel oder abhängig von einem übergeordneten Regelungsziel eingestellt. Insbesondere ist es möglich, dass das Verhältnis der Stickstoffdioxid-Konzentration zu der Gesamt-Stickoxid-Konzentration, welches im Folgenden kurz als Stickoxid-Verhältnis

- 15 bezeichnet wird, in Hinblick auf eine optimale Nutzung von SCR-Reaktionen, oder aber zur passiven Regeneration eines stromabwärts des Reaktors angeordneten Partikelfilters eingestellt wird. Insbesondere zur Nutzung einer sogenannten Fast-SCR-Reaktion wird das Stickoxid-Verhältnis bevorzugt zu 0,5 gewählt, wobei dann Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid zu gleichen Teilen im Abgas vorliegen. Dies ist für eine schnelle und möglichst vollständig
- 20 Umsetzung der Stickoxide in einem nachgelagerten SCR-Katalysator optimal. Zur Regeneration eines Dieselpartikelfilters wird dagegen bevorzugt ein möglichst hoher Anteil von Stickstoffdioxid angestrebt, sodass das Stickoxid-Verhältnis nach Möglichkeit gegen 1 verschoben wird.

- 25 Je nach Betriebspunkt der Brennkraftmaschine kann also entweder ein für die passive Regeneration eines Partikelfilters oder für eine möglichst schnelle und vollständige SCR-Reaktion günstiges Stickoxid-Verhältnis eingestellt werden.

- Vorzugsweise wird bei einer Ausführungsform des Verfahrens ein Kompromiss angestrebt
- 30 zwischen einer möglichst vollständigen Umsetzung von Kohlenwasserstoffen in dem Reaktor und einem für eine der vorgenannten Bedingungen optimalen Stickoxid-Verhältnis. Es ist aber auch möglich, dass der Betrieb der Brennkraftmaschine in einer ersten Betriebsart auf eine optimale Gasphasenreaktion der Kohlenwasserstoffe eingestellt wird, während dieses Regelungsziel in einer zweiten Betriebsart verlassen wird, wobei hier stattdessen ein anderes

Regelungsziel verfolgt wird, nämlich – insbesondere betriebspunktabhängig – eine Einstellung eines Stickoxid-Verhältnisses passend für eine optimale SCR-Reaktion oder für eine passive Regeneration eines Partikelfilters. Dabei kann insbesondere abhängig von momentanen Anforderungen an die Brennkraftmaschine – beispielsweise einer Beladung des Partikelfilters und ganz besonders betriebspunktabhängig – zwischen den beiden Betriebsarten gewechselt werden.

Die Einstellung des Stickoxid-Verhältnisses erfolgt – wie bereits ausgeführt – bevorzugt durch Einstellen der Reaktionsbedingungen in dem Reaktor, insbesondere durch Einstellen des wenigstens einen Betriebsparameters der Brennkraftmaschine. Besonders bevorzugt wird das Stickoxid-Verhältnis geregelt, insbesondere durch Variation des wenigstens einen Betriebsparameters.

Schließlich wird auch eine Ausführungsform des Verfahrens bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass in den Reaktor eine – insbesondere außerhalb eines Brennraums der Brennkraftmaschine erzeugte – Stickoxid-Verbindung, insbesondere Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, oder ein Gemisch aus Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, vorzugsweise mit einem bestimmten Verhältnis der Stoffe zueinander oder bezogen auf eine Gesamtheit des Gemischs, eingedüst wird. Hierdurch ist es insbesondere möglich, das Stickoxid-Verhältnis und/oder eine absolute Stickoxid-Konzentration in dem Reaktor und/oder stromabwärts des Reaktors unabhängig von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine – vorzugsweise in Hinblick auf ein momentan angestrebtes Regelungsziel – einzustellen. Die wenigstens eine Stickoxid-Verbindung wird bevorzugt in einem – insbesondere von den Brennräumen der Brennkraftmaschine separaten – Stickoxid-Generator hergestellt, beispielsweise aus Luft durch eine chemische Reaktion oder einen physikalischen Prozess, beispielsweise eine elektrische Entladung.

Die Aufgabe wird auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, die einen Abgasstrang aufweist, wobei in dem Abgasstrang – vorzugsweise stromaufwärts einer Turbine eines Abgasturboladers – ein Reaktor zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen angeordnet ist. Die Brennkraftmaschine ist dabei vorzugsweise eingerichtet zur Einstellung von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors. Dabei verwirklichen sich die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden.

Der Reaktor ist vorzugsweise stromabwärts eines Brennraums der Brennkraftmaschine, insbesondere unmittelbar stromabwärts, vorzugsweise möglichst brennraumnah, angeordnet. Somit profitiert der Reaktor von den brennraumnah noch sehr heißen Abgastemperaturen.

5

Die Brennkraftmaschine weist vorzugsweise ein Steuergerät auf, welches eingerichtet ist, um wenigstens einen Betriebsparameter der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors einzustellen. Das Steuergerät ist insbesondere eingerichtet zur Durchführung einer Ausführungsform des zuvor beschriebenen Verfahrens.

10

Es ist möglich, dass hierzu ein separates Steuergerät vorgesehen ist. Bevorzugt ist das Steuergerät allerdings als zentrales Steuergerät der Brennkraftmaschine ausgebildet (Engine Control Unit – ECU).

- 15 Weiterhin weist die Brennkraftmaschine vorzugsweise wenigstens ein Erfassungsmittel für den wenigstens einen Reaktionsparameter auf, welches bevorzugt mit dem Steuergerät wirkverbunden ist. Das wenigstens eine Erfassungsmittel kann als Sensor ausgebildet sein, beispielsweise als Temperatursensor oder als Stickoxid-Sensor. Bevorzugt weist die Brennkraftmaschine einen Temperatursensor stromaufwärts des Reaktors zur Erfassung der
- 20 Abgastemperatur und einen Stickoxid-Sensor stromaufwärts des Reaktors zur Erfassung einer Stickoxid-Konzentration im Abgas auf. Dabei ist es möglich, mittels der Messwerte dieser beiden Sensoren auch eine Alterungsbestimmung für das System aus Brennkraftmaschine und Reaktor durchzuführen und insbesondere Alterungseffekte zu berücksichtigen. Das Erfassungsmittel kann aber auch eingerichtet sein als Rechenmittel, welches insbesondere
- 25 eingerichtet ist zur Berechnung des wenigstens einen Reaktionsparameters, insbesondere anhand einer Simulation oder einer Modellrechnung.

- Weiterhin weist die Brennkraftmaschine bevorzugt wenigstens ein Einstellmittel zur Einstellung des wenigstens einen Betriebsparameters auf, welches bevorzugt mit dem Steuergerät
- 30 wirkverbunden ist. Das Einstellmittel kann beispielsweise als Ansteuerungsmittel für eine Zündeinrichtung zur Vorgabe und Variation eines Zündzeitpunkts eingerichtet sein. Das Einstellmittel kann zusätzlich oder alternativ geeignet sein, den Lambda-Wert und/oder einen Brennstoffmassenstrom in einem/einen Brennraum der Brennkraftmaschine zu beeinflussen,

wobei es insbesondere als Drosselklappe, als Einlassventil, als Brennstoffzumischeinrichtung, insbesondere als Injektor, oder in anderer geeigneter Weise ausgebildet sein kann.

Der Reaktor ist vorzugsweise als Schikanerohr ausgebildet, insbesondere als Rohr, welches

5 Umlenkbleche zur Umlenkung eines durch das Rohr strömenden Abgasstroms aufweist.  
Besonders bevorzugt ist der Reaktor als Doppelrohr ausgebildet, welches ein Innenrohr und ein Außenrohr aufweist. Dabei ist ein Einlass in das Doppelrohr vorzugsweise unmittelbar mit einem Inneren des Innenrohrs verbunden, sodass das in den Reaktor einströmende Abgas zunächst in das Innenrohr strömt, wobei es dieses entlang einer ersten Richtung – insbesondere einer  
10 Längsrichtung des Reaktors – durchströmt, wobei das Innenrohr an einem dem Einlass abgewandten Ende – in Längsrichtung gesehen – mit dem das Innenrohr umgreifenden Außenrohr in Fluidverbindung ist. Dort strömt das Abgas von dem Innenrohr in das Außenrohr, und es strömt in entgegengesetzter Richtung in dem Außenrohr zurück, wobei an dem ersten Ende der beiden in Strömungsrichtung gesehen gegenüberliegenden Enden des Doppelrohrs, an  
15 welchem der Einlass vorgesehen ist, auch ein Auslass vorgesehen ist, wobei der Auslass eine Fluidverbindung zwischen dem Außenrohr und dem Abgasstrang stromabwärts des Reaktors bereitstellt. Vorzugsweise weisen sowohl das Innenrohr als auch das Außenrohr Umlenkbleche auf, wodurch in den Rohren Schikanen existieren, welche den Strömungspfad des Abgases durch die Rohre verlängern.

20

Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass der Reaktor eine Strömungslängen-Veränderungsmimik aufweist, die eingerichtet ist zur Veränderung der Länge eines Strömungspfads des Abgases durch den Reaktor. Dabei ist es möglich, dass der Reaktor mechanisch – insbesondere in Längsrichtung  
25 gesehen – verlängerbar und verkürzbar ist, wobei die Strömungslängen-Veränderungsmimik vorzugsweise flexible, insbesondere ziehharmonikaartige Wandungen des Reaktors, und/oder ineinander greifende Wandungen nach Art eines Schubzylinders, sowie geeignete Mittel zur Streckung oder Stauchung des derart längenvariablen Reaktors umfasst. Solche Mittel können beispielsweise ein Linearaktuator in Form eines hydraulischen, pneumatischen oder auch  
30 elektrischen Aktuators sein. Die Strömungslängen-Veränderungsmimik kann aber auch Mittel umfassen, um Strömungspfade innerhalb des Reaktors zu sperren und freizugeben. Insbesondere ist es möglich, dass die Strömungslängen-Veränderungsmimik bewegliche Umlenkbleche umfasst, die in den Abgasstrom verlagert und aus dem Abgasstrom heraus verlagert werden können, um den Strömungspfad zu verlängern und zu verkürzen. Die Strömungslängen-

Veränderungsmimik ist vorzugsweise durch das Steuergerät ansteuerbar, insbesondere abhängig von einem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine.

Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass der Reaktor ein Katalysatormaterial aufweist, welches eingerichtet zur Katalyse einer Kohlenmonoxid- und/oder Kohlenwasserstoff-Oxidationsreaktion. Besonders bevorzugt weist der Reaktor einen Edelmetall-Katalysator auf. Dabei ist es möglich, dass wenigstens eine Wandung des Reaktors zumindest bereichsweise mit dem Katalysatormaterial beschichtet ist. Alternativ ist es möglich, dass in dem Reaktor wenigstens ein mit dem Katalysatormaterial beschichtetes Substrat angeordnet ist. Besonders bevorzugt weist der Reaktor an seinem Auslass ein Substrat auf, welches mit dem Katalysatormaterial beschichtet ist. Der Kohlenwasserstoff-Umsatz und/oder eine Oxidation der Reaktionsprodukte Kohlenmonoxid und Formaldehyd, die bei der Gasphasen-Oxidation von Methan unter bestimmten Reaktionsbedingungen entstehen können, kann/können durch das Katalysatormaterial in vorteilhafter Weise unterstützt werden. Somit können die Kohlenwasserstoff-Emissionen gegebenenfalls über das durch den Reaktor selbst erreichte Niveau hinaus noch weiter gesenkt werden. Weiterhin kann der Katalysator helfen, die Kohlenwasserstoff-Emissionen auch in Betriebspunkten zu senken, in welchen der Reaktor nicht optimal arbeiten kann.

Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass dem Reaktor eine Heizeinrichtung zugeordnet ist. Die Heizeinrichtung ist vorzugsweise als elektrische Heizeinrichtung oder als Brenner ausgebildet. Die Heizeinrichtung ist vorzugsweise durch das Steuergerät ansteuerbar, um insbesondere bedarfsgerecht eine Temperatur in dem Reaktor zu erhöhen. Auf diese Weise kann eine zur effizienten Oxidation von Kohlenwasserstoffen nötige Temperatur auch in Betriebspunkten erreicht werden, in welchen die Abgastemperatur hierfür nicht hoch genug eingestellt werden kann.

Es wird ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, welches sich dadurch auszeichnet, dass dem Reaktor eine Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung zugeordnet ist. Die Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung ist insbesondere eingerichtet zur Eindosierung von Reduktionsmittel, insbesondere von einer Harnstoff-Wasser-Lösung, in den Reaktor. Auf diese Weise kann der Reaktor als Mischstrecke zur Verteilung der Harnstoff-Wasser-Lösung und zu deren Aufbereitung vor einer Umsetzung in einem SCR-Katalysator verwendet werden. Eine

separate Mischstrecke kann dadurch eingespart werden. Der SCR-Katalysator kann insbesondere am Austritt des Reaktors in den Reaktor integriert oder nachfolgend angeordnet sein.

Schließlich wird auch ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass dem Reaktor eine Stickoxid-Dosiereinrichtung zugeordnet ist. Diese ist eingerichtet zur Eindosierung von wenigstens einer – vorzugsweise außerhalb eines Brennraums der Brennkraftmaschine erzeugten – Stickoxid-Verbindung in den Reaktor, insbesondere von Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, oder von einem Gemisch aus Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, vorzugsweise mit einem bestimmten Verhältnis dieser Stoffe zueinander oder bezogen auf eine Gesamtheit des Gemischs. Die Brennkraftmaschine ist auf diese Weise – insbesondere durch Ansteuerung der Stickoxid-Dosiereinrichtung – bevorzugt eingerichtet, um das Stickoxid-Verhältnis und/oder eine absolute Stickoxid-Konzentration in dem Reaktor und/oder stromabwärts des Reaktors unabhängig von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine – vorzugsweise in Hinblick auf ein momentan angestrebtes Regelungsziel – einzustellen. Die Brennkraftmaschine weist bevorzugt einen – insbesondere von den Brennräumen der Brennkraftmaschine separaten – Stickoxid-Generator auf, der eingerichtet ist zur Herstellung der wenigstens einen Stickoxid-Verbindung, beispielsweise aus Luft durch eine chemische Reaktion oder einen physikalischen Prozess, beispielsweise eine elektrische Entladung.

Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dient die Brennkraftmaschine dem Antrieb insbesondere schwerer Land- oder Wasserfahrzeuge, beispielsweise von Minenfahrzeugen, Zügen, wobei die Brennkraftmaschine in einer Lokomotive oder einem Triebwagen eingesetzt wird, oder von Schiffen. Auch ein Einsatz der Brennkraftmaschine zum Antrieb eines der Verteidigung dienenden Fahrzeugs, beispielsweise eines Panzers, ist möglich. Ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise auch stationär, beispielsweise zur stationären Energieversorgung im Notstrombetrieb, Dauerlastbetrieb oder Spitzenlastbetrieb eingesetzt, wobei die Brennkraftmaschine in diesem Fall vorzugsweise einen Generator antreibt. Auch eine stationäre Anwendung der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine im Bereich der Förderung fossiler Roh- und insbesondere Brennstoffe, beispielsweise Öl und/oder Gas, möglich. Auch eine Verwendung der Brennkraftmaschine im industriellen Bereich oder im Konstruktionsbereich, beispielsweise in einer Konstruktions- oder

Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Dieselmotor, als Benzinmotor, als Gasmotor zum Betrieb mit Erdgas, Biogas, Sondergas oder einem anderen geeigneten Gas, ausgebildet. Insbesondere wenn die Brennkraftmaschine als Gasmotor ausgebildet ist, ist sie für den Einsatz  
5 in einem Blockheizkraftwerk zur stationären Energieerzeugung geeignet.

Besonders vorteilhaft in Zusammenhang mit der Anwendung des Verfahrens bei einem Gasmotor beziehungsweise in Zusammenhang mit einer als Gasmotor ausgebildeten Brennkraftmaschine ist, dass unter bestimmten Reaktionsbedingungen in dem Reaktor auch die Stoffe  
10 Kohlenmonoxid und Formaldehyd durch Gasphasenreaktion möglichst vollständig umgesetzt werden können. Somit werden diese Schadstoffe im Abgas des Gasmotors effizient verringert oder sogar beseitigt.

Die Beschreibung des Verfahrens einerseits und der Brennkraftmaschine andererseits sind  
15 komplementär zueinander zu verstehen. Merkmale der Brennkraftmaschine, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit dem Verfahren erläutert wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert Merkmale eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Brennkraftmaschine. Verfahrensschritte, die explizit oder implizit in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine erläutert wurden, sind bevorzugt einzeln oder miteinander kombiniert  
20 Schritte einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens. Dieses zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens einen Verfahrensschritt aus, welcher durch wenigstens ein Merkmal der Brennkraftmaschine bedingt ist. Die Brennkraftmaschine zeichnet sich bevorzugt durch wenigstens ein Merkmal aus, welches durch wenigstens einen Verfahrensschritt einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bedingt ist.

25 Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt die einzige Figur eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine.

Die einzige **Fig.** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer  
30 Brennkraftmaschine 1 mit einem Abgasstrang 3, in dem ein Reaktor 5 angeordnet ist, der eingerichtet ist zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen. Dabei ist die Brennkraftmaschine 1 eingerichtet, um wenigstens einen Betriebsparameter derselben in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors 5 einzustellen.

Der Reaktor 5 ist vorzugsweise als Gasphasen-Reaktor ausgebildet. Dies bedeutet insbesondere, dass der Reaktor 5 eingerichtet ist zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen in einer Gasphasenreaktion. Insbesondere ist der Reaktor 5 nicht selbst als Katalysator ausgebildet, wobei an einem Katalysator oberflächengebundene Reaktionen stattfinden, und keine Gasphasenreaktionen.

Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine 1 eingerichtet, um ihren Betrieb – insbesondere betriebspunktabhängig – in wenigstens einer ersten Betriebsart auf eine optimale Gasphasenreaktion der Kohlenwasserstoffe in dem Reaktor 5 zu optimieren. Besonders bevorzugt ist die Brennkraftmaschine eingerichtet, um den wenigstens einen Reaktionsparameter durch Variation des wenigstens einen Betriebsparameters zu regeln.

Der Reaktor 5 ist in dem Abgasstrang 3 bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel stromaufwärts einer Turbine 7 eines Abgasturboladers 9 angeordnet. Dabei ist die Turbine 7 hier über eine Welle 11 mit einem Verdichter 13 wirkverbunden, der in einem Ladepfad 15 der Brennkraftmaschine 1 angeordnet ist. Der Ladepfad 15 dient dazu, einem Brennraum 17 der Brennkraftmaschine 1 Verbrennungsluft oder ein Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch zuzuführen. Das hier dargestellte Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 ist als gemischverdichtender Gasmotor ausgebildet, sodass dem Brennraum 17 durch den Ladepfad 15 ein mittels des Verdichters 13 verdichtetes Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch zugeführt wird.

Der Reaktor 5 ist stromabwärts des Brennraums 17 in dem Abgasstrang 3 angeordnet. Dabei ist er vorzugsweise möglichst brennraumnah, bevorzugt unmittelbar stromabwärts eines Abgassammelrohrs oder eines Abgaskrümmers, angeordnet.

Die Brennkraftmaschine 1 weist vorzugsweise eine Mehrzahl – insbesondere identischer – Brennräume 17 auf. Sie ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Dabei ist es möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 insbesondere vier, sechs, acht, zehn, zwölf, sechzehn, achtzehn, zwanzig oder vierundzwanzig Zylinder aufweist. Auch eine kleinere, größere oder andere Zylinderanzahl ist möglich. Die Brennkraftmaschine 1 kann als Reihenmotor, als V-Motor, als W-Motor, oder mit einer anderen Konfiguration der Brennräume 17 ausgebildet sein. In dem hier dargestellten Brennraum 17 ist ein Kolben 19 verlagerbar angeordnet.



- Ein Einlass 21 des Reaktors 5 ist vorzugsweise mit einem Sammelrohr 23 des Abgasstrangs 7 in Fluidverbindung, wobei dem Sammelrohr 23 Abgas aus einer Mehrzahl von Brennräumen 17 zugeführt wird. Es ist möglich, dass dem Sammelrohr 23 Abgas aus allen Brennräumen 17 zugeführt wird. Insbesondere bei einer V- oder W-förmigen Konfiguration der Brennräume 17 ist es aber auch möglich, dass verschiedenen Gruppen von Brennräumen 17 verschiedene Sammelrohre 23 zugeordnet sind. Dabei ist es insbesondere auch möglich, dass verschiedenen Zylindergruppen vollständig separate Abgasstränge 3 zugeordnet sind, wobei in einem solchen Fall bevorzugt jeder Abgasstrang 3 separat einen entsprechenden Reaktor 5 aufweist.
- Der Reaktor 5 ist bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel in Doppelrohrbauweise ausgestaltet, nämlich mit einem Innenrohr 25, welches von einem Außenrohr 27 umgriffen ist. An dem Außenrohr 27 ist außen vorzugsweise eine Isolation 29 angeordnet, um das Innere des Reaktors 5 thermisch zu isolieren und so einen Wärmeverlust aus dem Inneren des Reaktors 5 zu verringern. Sowohl in dem Innenrohr 25 als auch in dem Außenrohr 27 sind Umlenkbleche 31 angeordnet. Diese können in besonders einfacher Bauweise halbkreis- oder halbringförmig ausgebildet sein, insbesondere für das Innenrohr halbkreisförmig und für das Außenrohr halbringförmig. Selbstverständlich sind andere geeignete Ausgestaltungen möglich, insbesondere wenn das Außenrohr und/oder das Innenrohr keinen kreiszylindrischen Querschnitt sondern einen hiervon abweichenden, beispielsweise ovalen oder rechteckförmigen Querschnitt, aufweist/aufweisen.
- Der Einlass 21 mündet hier in das Innenrohr 25. Abgas tritt daher von dem Brennraum 17 her kommend durch den Einlass 21 zunächst in das Innenrohr 25 ein, wobei die Abgasführung in das Innenrohr 25 bevorzugt durch einen Rohrstutzen 33 von dem Innenvolumen des Außenrohrs 27 abgeschirmt ist. In dem Innenrohr 25 strömt das Abgas entlang einer Längsachse L in eine erste Richtung von einem ersten, eintrittsseitigen Ende des Reaktors 5 zu einem zweiten, – in Längsrichtung gesehen – gegenüberliegenden Ende, wobei es die in dem Innenrohr 25 angeordneten Umlenkbleche 31 umströmt. An dem zweiten Ende weist das Innenrohr 25 eine Aussparung 35 auf, durch welche das Abgas aus dem Innenrohr 25 in das Innenvolumen des Außenrohrs 27 eintritt. Dort strömt es entlang einer zweiten Richtung – wiederum in Längsrichtung gesehen – von dem zweiten Ende zurück zu dem ersten Ende, wobei es die in dem Außenrohr 27 angeordneten Umlenkbleche 31 umströmt. Es tritt schließlich durch einen Auslass 37 aus dem Außenrohr 27 aus. Von dort strömt es weiter zu der Turbine 7.

Durch die konkrete Wahl des Strömungspfads in dem Reaktor 5 und insbesondere die Zahl und/oder Anordnung der Umlenkbliche 31 kann die Länge des Strömungspfads in dem Reaktor 5 beeinflusst und die Verweilzeit des Abgases in dem Reaktor 5 – bei gegebenem Abgasdruck und Massenstrom – vorgegeben werden.

5

Die Brennkraftmaschine 1 weist ein Steuergerät 39 auf, welches eingerichtet ist, um wenigstens einen Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1 in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors 5 einzustellen. Das Steuergerät 39 ist vorzugsweise als zentrales Steuergerät der Brennkraftmaschine 1 (Engine Control Unit – ECU) ausgebildet.

10

Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 39 insbesondere mit wenigstens einem Erfassungsmittel für den wenigstens einen Reaktionsparameter wirkverbunden, hier mit einem Temperatursensor 41, der eingerichtet und angeordnet ist zur Erfassung einer Abgastemperatur unmittelbar stromaufwärts des Reaktors 5, und/oder mit einem Stickoxidsensor 43, der eingerichtet und  
15 angeordnet ist zur Erfassung einer Stickoxid-Konzentration in dem Abgas unmittelbar stromaufwärts des Reaktors 5. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass das Steuergerät 39 mit einem insbesondere unmittelbar stromaufwärts des Reaktors 5 angeordneten Drucksensor zur Messung des Abgasdrucks wirkverbunden ist. Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 sind bevorzugt die Abgastemperatur und die Stickoxid-Konzentration  
20 im Abgas stromaufwärts des Reaktors 5 erfassbar.

Das Steuergerät 39 ist weiterhin mit wenigstens einem Einstellmittel zur Einstellung des wenigstens einen Betriebsparameters wirkverbunden. Dabei ist es hier mit einer Zündeinrichtung 45, insbesondere einer Zündkerze, wirkverbunden, wobei durch das Steuergerät 39 ein  
25 Zündzeitpunkt in dem Brennraum 17 vorgegeben werden kann. Zusätzlich oder alternativ ist das Steuergerät 39 hier mit einer Brennstoff-Mischeinrichtung 47 wirkverbunden, die eingerichtet ist, um abhängig von der Ansteuerung durch das Steuergerät 39 eine bestimmte Menge eines Brennstoffs 49, insbesondere eines Brenngases, in einen Verbrennungsluftstrom 51 einzudosieren und/oder einen Brennstoffmassenstrom einzustellen. Durch Ansteuerung der  
30 Brennstoff-Mischeinrichtung 47 ist somit insbesondere ein Verbrennungsluft-Brennstoff-Verhältnis, nämlich ein sogenannter Lambda-Wert, einstellbar. Die Brennstoff-Mischeinrichtung 47 ist hier stromaufwärts des Verdichters 13 angeordnet, sodass in dem Verdichter 13 das Verbrennungsluft-Brennstoff-Gemisch, welches durch die Brennstoff-Mischeinrichtung 47

erzeugt wird, verdichtet wird, wobei das verdichtete Gemisch über den Ladepfad 15 dem Brennraum 17 zugeführt wird.

Vorzugsweise ist in dem Ladepfad 15 noch eine Drosselklappe 53 angeordnet, die ebenfalls durch das Steuergerät 39 ansteuerbar ist. Die Drosselklappe 53 dient bevorzugt einer Leistungssteuerung oder -regelung der Brennkraftmaschine 1.

Weiterhin weist das hier dargestellte Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 vorzugsweise ein variabel einstellbares Einlassventil 55 auf, welches einen vollvariablen Ventiltrieb 57 aufweist, der ebenfalls mit dem Steuergerät 39 wirkverbunden ist. Es ist selbstverständlich möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 nur die Drosselklappe 53 und ein herkömmliches Einlassventil 55 ohne vollvariablen Ventiltrieb aufweist. Es ist auch möglich, dass die Brennkraftmaschine 1 das Einlassventil 55 mit dem vollvariablen Ventiltrieb 57, dafür jedoch keine Drosselklappe 53 aufweist. Dabei kann die Funktion der Drosselklappe 53 durch das vollvariabel einstellbare Einlassventil 55 übernommen werden. Auch durch Ansteuerung der Drosselklappe 53 und/oder des Einlassventils 55 ist es möglich, die Bedingungen in dem Brennraum 17 so zu verändern, dass sich diese auf den wenigstens einen Reaktionsparameter des Reaktors 5 auswirken.

Der Brennraum 17 ist über ein Auslassventil 59 mit dem Sammelrohr 23 fluidverbunden.

Das Steuergerät 39 ist also insbesondere eingerichtet, um abhängig von Messwerten des Temperatursensors 41 und/oder des Stickoxidsensors 43 die Zündeinrichtung 45, die Brennstoff-Mischeinrichtung 47, die Drosselklappe 53 und/oder den voll variablen Ventiltrieb 57 so anzusteuern, dass wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 1, insbesondere der Zündzeitpunkt, ein Brennstoffmassenstrom und/oder der Lambda-Wert, in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter, hier insbesondere der Abgastemperatur- und/oder der Stickoxid-Konzentration im Abgas, eingestellt wird.

Der Reaktor 5 weist vorzugsweise eine hier nicht dargestellte Strömungslängen-Veränderungsmimik auf, die eingerichtet ist zur Veränderung der Länge eines Strömungspfads durch den Reaktor 5. Dabei kann mittels der Strömungslängen-Veränderungsmimik insbesondere eine Länge des Reaktors 5 – bevorzugt in Richtung der Längsachse L –

veränderbar sein, oder es ist möglich, innerhalb des Reaktors 5 bestimmte Strömungspfade zu sperren und freizugeben, beispielsweise mittels verlagerbarer Klappen oder Umlenkbleche.

Alternativ oder zusätzlich ist bevorzugt ein Bypass vorgesehen, der stromaufwärts des Reaktors 5 aus dem Sammelrohr 23 abzweigt und stromabwärts des Reaktors 5 vor der Turbine 7 in den Abgasstrang 3 einmündet. Dabei ist vorzugsweise ein Durchströmungsquerschnitt des Bypasses veränderbar. Damit ist es insbesondere im Dynamikfall möglich, schnell den Massenstrom zu der Turbine 7 zu vergrößern und so ein rasches Ansprechen des Turboladers 9 – insbesondere bei Lastaufschaltung – herbeizuführen.

Der Reaktor 5 weist vorzugsweise ein Katalysatormaterial auf, wobei bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ein mit einem Katalysatormaterial beschichtetes Substrat 61 im Bereich des Auslasses 37 angeordnet ist. Bei dem Katalysatormaterial handelt es sich bevorzugt um einen Edelmetall-Katalysator. Das Katalysatormaterial ist eingerichtet, um eine Oxidationsreaktion von Kohlenmonoxid und/oder von Kohlenwasserstoffen zu katalysieren. Damit unterstützt das Katalysatormaterial die Wirkweise des Reaktors 5 und gewährleistet insbesondere auch in Betriebspunkten, in denen der Reaktor 5 nicht optimal arbeiten kann, eine wirksame Reduktion der Kohlenwasserstoff-Emissionen der Brennkraftmaschine 1.

Bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine 1 ist dem Reaktor 5 außerdem eine Heizeinrichtung 63 zugeordnet, welche mit dem Steuergerät 39 wirkverbunden und durch dieses ansteuerbar ist. Mittels der Heizeinrichtung 63 ist es möglich, die Temperatur in dem Reaktor 5 bedarfsgerecht zu erhöhen, wenn die Abgastemperatur in bestimmten Betriebspunkten der Brennkraftmaschine 1 nicht ausreicht, um eine effiziente Reaktion von Kohlenwasserstoffen in dem Reaktor 5 zu gewährleisten. Die Heizeinrichtung 63 ist vorzugsweise als elektrische Heizeinrichtung oder als Brenner ausgebildet. dabei ist sie vorzugsweise mit demselben Brennstoff 49 betreibbar, mit welchem auch die Brennkraftmaschine 1 betrieben wird.

Dem Reaktor 5 ist vorzugsweise eine Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung 65 zugeordnet, die eingerichtet ist, um ein Reduktionsmittel, insbesondere eine Harnstoff-Wasser-Lösung, in den Reaktor 5 einzudüsen. Dieser dient somit in vorteilhafter Weise als Mischstrecke für das Reduktionsmittel. Dabei ist die Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung 65 besonders bevorzugt nahe des Einlasses 21 angeordnet, sodass der volle Strömungspfad durch den Reaktor 5 als

Mischstrecke zur Verfügung steht. Auf eine separate Mischstrecke für das Reduktionsmittel kann dann verzichtet werden. Die Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung 65 ist vorzugsweise mit dem Steuergerät 39 wirkverbunden und durch dieses ansteuerbar.

- 5 Dem Reaktor 5 ist vorzugsweise eine Stickoxid-Dosiereinrichtung 67 zugeordnet. Diese ist eingerichtet zur Eindosierung von wenigstens einer – vorzugsweise außerhalb des Brennraums 17 der Brennkraftmaschine 1 erzeugten – Stickoxid-Verbindung in den Reaktor 5, insbesondere von Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, oder von einem Gemisch aus Stickstoffmonoxid oder Stickstoffdioxid, vorzugsweise mit einem bestimmten Verhältnis dieser Stoffe zueinander  
10 oder bezogen auf eine Gesamtheit des Gemischs. Die Brennkraftmaschine 1 ist auf diese Weise – insbesondere durch Ansteuerung der Stickoxid-Dosiereinrichtung 67 durch das Steuergerät 39 – bevorzugt eingerichtet, um das Stickoxid-Verhältnis und/oder eine absolute Stickoxid-Konzentration in dem Reaktor 5 und/oder stromabwärts des Reaktors 5 unabhängig von einem momentanen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 – vorzugsweise in Hinblick auf ein  
15 momentan angestrebtes Regelungsziel – einzustellen.

Die Brennkraftmaschine 1 weist bevorzugt einen – insbesondere von dem Brennraum 17 separaten – Stickoxid-Generator 69 auf, der eingerichtet ist zur Herstellung der wenigstens einen Stickoxid-Verbindung, beispielsweise aus Luft durch eine chemische Reaktion oder einen  
20 physikalischen Prozess, beispielsweise eine elektrische Entladung.

Die Stickoxid-Dosiereinrichtung 67 und/oder der Stickoxid-Generator 69 ist/sind bevorzugt mit dem Steuergerät 39 wirkverbunden und durch dieses ansteuerbar, insbesondere um das Stickoxid-Verhältnis oder auch eine absolute Stickoxid-Konzentration in dem Reaktor 5 auf  
25 einen für den Kohlenwasserstoff-Umsatz günstigen Wert oder in Hinblick auf ein anderes Regelungsziel einzustellen.

Insgesamt zeigt sich, dass mittels des Reaktors 5 eine sehr weitgehende bis vollständige Oxidation insbesondere von Methan und weiteren, höherkettigen Kohlenwasserstoffen möglich  
30 ist. Dabei ist der Kohlenwasserstoff-Umsatz unabhängig von Schwefel und anderen Katalysator-Giften. Dadurch ist der Reaktor 5 insbesondere geeignet zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen bei Brennkraftmaschinen 1, die mit methanhaltigen Sondergasen, insbesondere Deponiegas, Produktgas der Holzvergasung, oder Biogas betrieben werden. Der Reaktor 5 weist als Gasphasen-Reaktor außerdem keine thermische Alterung auf, sodass der Kohlenwasserstoff-

Umsatz dauerhaft ist.

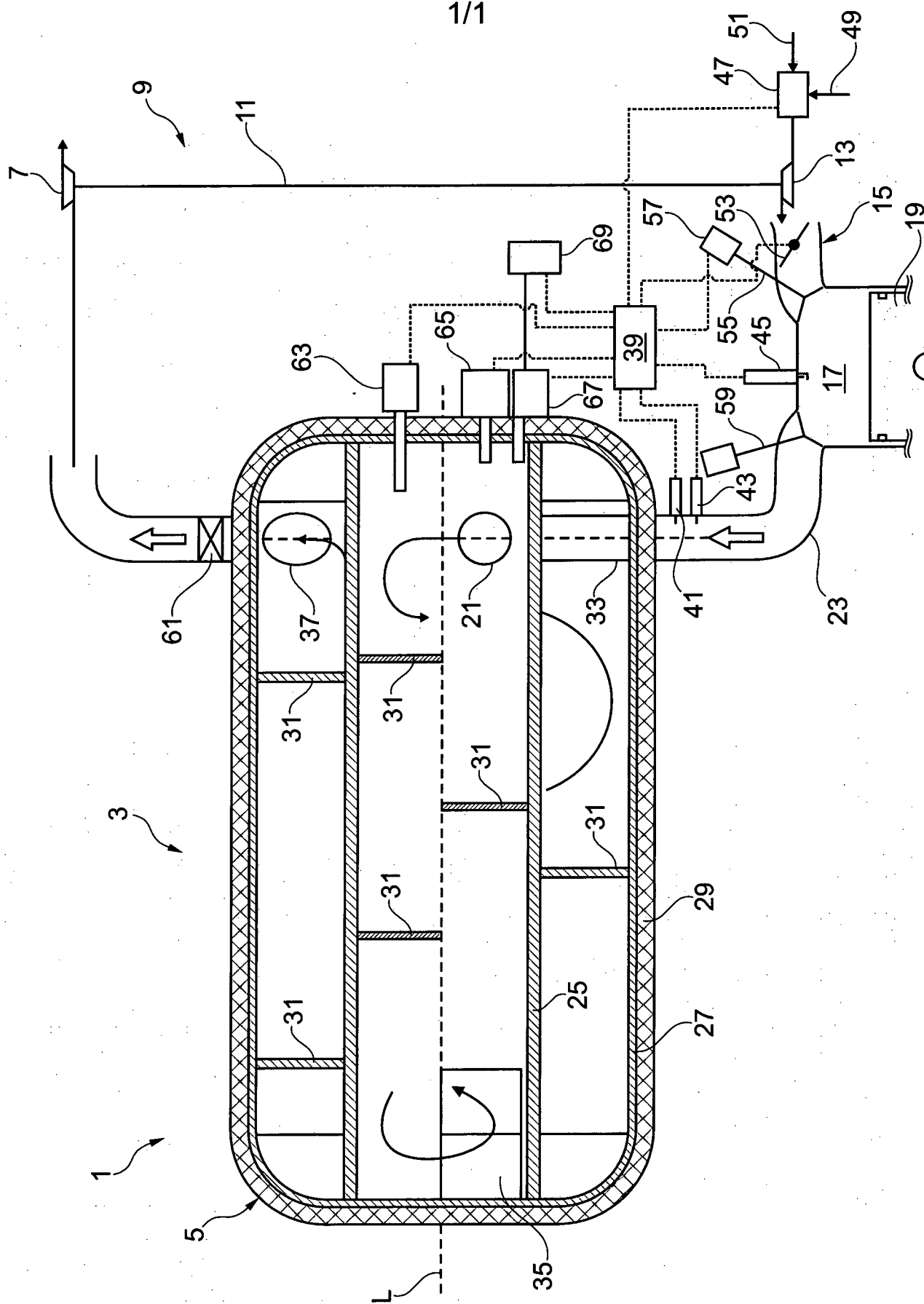
## ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), die in einem Abgasstrang (3) einen  
5 Reaktor (5) zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (1) in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors (5) eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine  
10 Reaktionsparameter ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einer Abgastemperatur, einem Abgasdruck, einem Abgasmassenstrom, einer Kohlenwasserstoff-Konzentration im Abgas, einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas, einer Stickstoffmonoxid-Konzentration im Abgas, einer Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas, und einem Verhältnis einer Stickstoffdioxid-Konzentration im Abgas zu einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas.  
15
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Betriebsparameter ein Verbrennungsparameter ist, wobei der wenigstens eine Betriebsparameter vorzugsweise ausgewählt ist aus einer Gruppe bestehend aus einem Zündzeitpunkt, einem Brennstoffmassenstrom, und einem Verbrennungsluft-Brennstoff-  
20 Verhältnis.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine dem Reaktor (5) zugeordnete Heizeinrichtung (63) angesteuert wird, um eine Temperatur in dem Reaktor (5) zu erhöhen.  
25
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Verweilzeit von Abgas in dem Reaktor (5) eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in  
30 den Reaktor (5) ein Reduktionsmittel zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickoxiden eingedüst wird, und/oder dass ein an einem Auslass (37) des Reaktors (5) vorliegendes Verhältnis einer Stickstoffdioxid-Konzentration zu einer Gesamt-Stickoxid-Konzentration im Abgas eingestellt wird.

7. Brennkraftmaschine (1), mit einem Abgasstrang (3), **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Abgasstrang (3) – vorzugsweise stromaufwärts einer Turbine (7) eines Abgasturboladers (9) – ein Reaktor (5), eingerichtet zur Oxidation von Kohlenwasserstoff-Molekülen, angeordnet ist, wobei die Brennkraftmaschine (1) eingerichtet ist, um wenigstens einen Betriebsparameter der
- 5 Brennkraftmaschine (1) in Abhängigkeit von wenigstens einem Reaktionsparameter des Reaktors (5) einzustellen.
8. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (5) eine Strömungslängen-Veränderungsmimik aufweist, die eingerichtet ist zur Veränderung der
- 10 Länge eines Strömungspfades durch den Reaktor (5).
9. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (5) ein Katalysatormaterial aufweist, das eingerichtet ist zur Katalyse einer Kohlenmonoxid- und/oder Kohlenwasserstoff-Oxidationsreaktion, wobei der Reaktor (5)
- 15 vorzugsweise einen Edelmetall-Katalysator aufweist.
10. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (5) eine Reduktionsmittel-Dosiereinrichtung (65) und/oder eine Stickoxid-Dosiereinrichtung (67) zugeordnet ist/sind.



1/1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/000419

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>INV. F02D41/02 F01N3/08 F01N3/10 F01N3/20 F02D41/14<br>F02D35/00<br>ADD.<br>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                   |                                                                                                                               |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>F02D F01N<br>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched<br>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                                                                                                               |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">X</td> <td>US 2012/137660 A1 (YAN MI [US] ET AL)<br/>7 June 2012 (2012-06-07)<br/>paragraphs [0011], [0012]<br/>-----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">X</td> <td>DE 10 2008 002469 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 December 2009 (2009-12-24)<br/>paragraphs [0006], [0016]<br/>-----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>DE 10 2008 059698 A1 (DAIMLER AG [DE])<br/>2 June 2010 (2010-06-02)<br/>paragraphs [0003], [0005], [0006]<br/>-----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-10</td> </tr> </tbody> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                   |                                                                                                                               | Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. | X | US 2012/137660 A1 (YAN MI [US] ET AL)<br>7 June 2012 (2012-06-07)<br>paragraphs [0011], [0012]<br>----- | 1-10 | X | DE 10 2008 002469 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 December 2009 (2009-12-24)<br>paragraphs [0006], [0016]<br>----- | 1-10 | A | DE 10 2008 059698 A1 (DAIMLER AG [DE])<br>2 June 2010 (2010-06-02)<br>paragraphs [0003], [0005], [0006]<br>----- | 1-10 |
| Category*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                | Relevant to claim No.                                                                                                         |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | US 2012/137660 A1 (YAN MI [US] ET AL)<br>7 June 2012 (2012-06-07)<br>paragraphs [0011], [0012]<br>-----           | 1-10                                                                                                                          |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DE 10 2008 002469 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 December 2009 (2009-12-24)<br>paragraphs [0006], [0016]<br>----- | 1-10                                                                                                                          |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DE 10 2008 059698 A1 (DAIMLER AG [DE])<br>2 June 2010 (2010-06-02)<br>paragraphs [0003], [0005], [0006]<br>-----  | 1-10                                                                                                                          |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.         </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                   |                                                                                                                               |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div> |                                                                                                                   |                                                                                                                               |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| Date of the actual completion of the international search<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">16 June 2016</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                   | Date of mailing of the international search report<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">27/06/2016</div> |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                   | Authorized officer<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Jackson, Stephen</div>                           |           |                                                                                    |                       |   |                                                                                                         |      |   |                                                                                                                   |      |   |                                                                                                                  |      |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/000419

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 2012137660 A1                          | 07-06-2012          | NONE                       |                     |
| -----                                     |                     |                            |                     |
| DE 102008002469 A1                        | 24-12-2009          | DE 102008002469 A1         | 24-12-2009          |
|                                           |                     | US 2009308056 A1           | 17-12-2009          |
| -----                                     |                     |                            |                     |
| DE 102008059698 A1                        | 02-06-2010          | DE 102008059698 A1         | 02-06-2010          |
|                                           |                     | EP 2358985 A1              | 24-08-2011          |
|                                           |                     | JP 5311082 B2              | 09-10-2013          |
|                                           |                     | JP 2012510025 A            | 26-04-2012          |
|                                           |                     | WO 2010060503 A1           | 03-06-2010          |
| -----                                     |                     |                            |                     |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/000419

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                        |                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b><br>INV. F02D41/02 F01N3/08 F01N3/10 F01N3/20 F02D41/14<br>F02D35/00<br>ADD.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| <b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b><br>Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)<br>F02D F01N                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| 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)<br>EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| <b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| Kategorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile     | Betr. Anspruch Nr.                                                                                                         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | US 2012/137660 A1 (YAN MI [US] ET AL)<br>7. Juni 2012 (2012-06-07)<br>Absätze [0011], [0012]           | 1-10                                                                                                                       |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DE 10 2008 002469 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Dezember 2009 (2009-12-24)<br>Absätze [0006], [0016] | 1-10                                                                                                                       |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DE 10 2008 059698 A1 (DAIMLER AG [DE])<br>2. Juni 2010 (2010-06-02)<br>Absätze [0003], [0005], [0006]  | 1-10                                                                                                                       |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie         </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> </div> </div> |                                                                                                        |                                                                                                                            |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche<br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">16. Juni 2016</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                        | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts<br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">27/06/2016</div> |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        | Bevollmächtigter Bediensteter<br><div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Jackson, Stephen</div>                 |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/000419

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 2012137660 A1                                   | 07-06-2012                    | KEINE                             |                               |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| DE 102008002469 A1                                 | 24-12-2009                    | DE 102008002469 A1                | 24-12-2009                    |
|                                                    |                               | US 2009308056 A1                  | 17-12-2009                    |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| DE 102008059698 A1                                 | 02-06-2010                    | DE 102008059698 A1                | 02-06-2010                    |
|                                                    |                               | EP 2358985 A1                     | 24-08-2011                    |
|                                                    |                               | JP 5311082 B2                     | 09-10-2013                    |
|                                                    |                               | JP 2012510025 A                   | 26-04-2012                    |
|                                                    |                               | WO 2010060503 A1                  | 03-06-2010                    |
| -----                                              |                               |                                   |                               |