



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **101 54 974.1**
 (22) Anmeldetag: **06.11.2001**
 (43) Offenlegungstag: **15.05.2003**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **24.01.2019**

(51) Int Cl.: **F02D 43/04 (2006.01)**
F02D 41/04 (2006.01)
F01N 9/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

(74) Vertreter:
**Gulde & Partner Patent- und
 Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Pott, Ekkehard, Dr., 38518 Gifhorn, DE; Zillmer,
 Michael, Dr., 38173 Sickinge, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

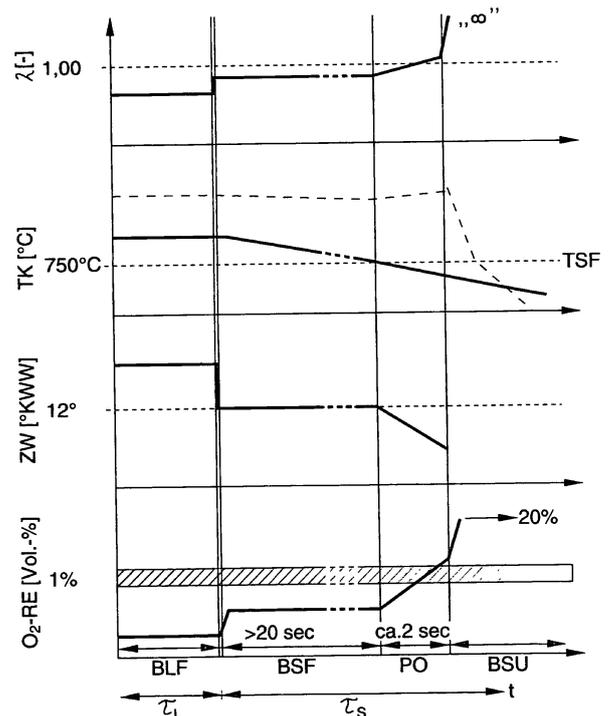
DE	39 26 096	A1
DE	44 45 462	A1
DE	101 10 500	A1
DE	196 19 320	A1
DE	196 30 944	A1
DE	197 51 928	A1
DE	199 43 914	A1
DE	199 58 251	A1
DE	698 21 810	T2

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine von einem gefeuerten Betrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine (10) eines Kraftfahrzeuges mit mindestens einem nachgeschalteten Katalysator (14, 16) von einem in einer Lastphase (τ_L) oder einer Schubphase (τ_S) durchgeführten gefeuerten Betrieb (BLF, BSF) in einen ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) durch Unterbrechung einer Kraftstoffzufuhr, wobei während der Schubphase (τ_S) ein angefordertes Fahrwunschmoment kleiner oder gleich einem momentanen Schubmoment des Fahrzeuges ist, wobei zur Umschaltung von dem gefeuerten Betrieb (BLF, BSF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) vor Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr eine Übergangsphase (PO) durchgeführt wird, wobei während der Übergangsphase (PO) ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs (BLF, BSF) vorliegender Zündwinkel (ZW) in Richtung „spät“ verstellt wird und/oder ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs (BLF, BSF) eingestellter Lambdasollwert (λ) in Richtung „mager“ verschoben wird, dadurch gekennzeichnet, dass

- wenn eine Katalysatortemperatur (TK) mindestens eines Katalysators (14, 15) eine erste vorgebbare Temperaturschwelle (TSF) überschreitet, die Schubabschaltung nicht zugelassen und die Schubphase (τ_S) gefeuert betrieben wird (BSF);

- wenn die Katalysatortemperatur (TK) mindestens eines Katalysators (14, 15) eine zweite vorgebbare Temperaturschwelle (TPO), nicht aber die erste vorgebbare Temperaturschwelle (TSF) überschreitet, eine Umschaltung vom gefeuerten Lastbetrieb ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie Vorrichtungen zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine eines Kraftfahrzeuges von einem geheizten Last- oder Schubbetrieb in einen ungeheizten Schubbetrieb mit den in den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche 1 beziehungsweise 23 genannten Merkmalen.

[0002] Zur Nachbehandlung von Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen ist bekannt, das Abgas über mindestens einen Katalysator zu leiten, der eine Konvertierung einer oder mehrerer Schadstoffkomponenten des Abgases vornimmt. So genannte Oxidationskatalysatoren fördern die Oxidation von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlenmonoxid (CO), während Reduktionskatalysatoren eine Reduzierung von Stickoxiden (NO_x) des Abgases unterstützen. Ferner sind 3-Wege-Katalysatoren in der Lage, die Konvertierung dieser drei Komponenten (HC, CO, NO_x) gleichzeitig zu katalysieren. Dabei kann ein quantitativer 3-Wege-katalytischer Umsatz jedoch nur bei einem streng stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis bei $\lambda = 1$ erfolgen. In einem verbrauchsgünstigen Magerbetrieb, bei dem die Verbrennungskraftmaschine mit Sauerstoffüberschuss, das heißt mit $\lambda > 1$, gefahren wird, ist eine vollständige 3-Wegekatalytische Umsetzung von NO_x hingegen nicht möglich. Zur Abhilfe werden NO_x -Speicherkatalysatoren eingesetzt, die neben einer katalytischen Komponente einen NO_x -Speicher enthalten, der in den mageren Betriebsphasen NO_x in Form von Nitrat speichert und in zwischengeschalteten fetten Regenerationsphasen bei $\lambda < 1$ wieder freisetzt und zu Stickstoff N_2 reduziert. Häufig ist dem NO_x -Speicherkatalysator noch ein Vorkatalysator, beispielsweise ein 3-Wege-Katalysator, vorgeschaltet.

[0003] Verglichen mit reinen 3-Wege-Katalysatorsystemen sind NO_x -Katalysatorsysteme verhältnismäßig temperaturempfindlich. So kann bereits bei stromauf des NO_x -Speicherkatalysators vorliegenden Abgastemperaturen oberhalb von 800 °C eine irreversible Schädigung des Katalysatorsystems erfolgen, so dass die Katalysatoraktivität über die Fahrzeuglebensdauer deutlich abnimmt. Dies betrifft sowohl die NO_x -Speicherung und -Regeneration während der mageren und fetten Betriebsintervalle als auch das HC-, CO- und NO_x -Konvertierungsverhalten bei stöchiometrischer Beaufschlagung. Um das Überschreiten einer kritischen Temperaturgrenze zu vermeiden, sind Abgaskühlungsmaßnahmen zur Senkung der Abgastemperatur bekannt.

[0004] Ein besonderes Problem hinsichtlich der Temperaturbelastung aller Katalysatorsysteme stellen im üblichen Fahrbetrieb unvermeidbare Schubphasen dar, die beispielsweise bei Verzögerungen des Fahrzeuges oder auf Gefällestrecken auftreten

können. In der Schubphase ist ein vom Fahrer vorgegebenes Fahrwunschkraftmoment kleiner oder gleich einem aus den Fahrwiderständen resultierenden (momentanen) Schubmoment des Fahrzeuges. In üblichen Systemen wird aus Gründen der Kraftstoffersparung während einer Schubphase die Kraftstoffzufuhr unterbrochen, die Verbrennungskraftmaschine somit nicht geheizt betrieben (Schubabschaltung). Dabei gelangen aber hohe Sauerstoffkonzentrationen ins Abgas und an das Katalysatorsystem, welches zu Beginn der Schubphase, insbesondere nach einem Hoch- oder Vollastbetrieb, noch hohe Massen oxidierbarer Abgaskomponenten, insbesondere HC, enthält. Infolge der exothermen Konvertierungsreaktion dieser Komponenten mit dem Sauerstoff entstehen lokale Temperaturspitzen, welche zu einer verstärkten Oxidation und/oder Sinterung der katalytischen Edelmetallbeschichtungen führen und somit die katalytische Aktivität dauerhaft schädigen können (vgl. **Fig. 2**). Dieses Problem ist umso gravierender, je höher die während einer der Schubphase vorausgegangenen Fahrzeugvortriebsphase (Lastphase) erreichten Temperaturen des Katalysatorsystems sind, das heißt insbesondere nach einem Hochlast- oder Vollast-Fahrzeugbetrieb. Das schädigende Potential der Schubabschaltung zeigt sich in Motorprüfstandsuntersuchungen, bei denen Belastungszyklen, bestehend aus hohen Lasten und hohen Abgastemperaturen im Wechsel mit ungeheizten Schubphasen, zu einer stärkeren Desaktivierung des NO_x -Speicherkatalysatorsystems führen als entsprechende Belastungszyklen ohne zwischengeschaltete Schubphasen.

[0005] Aus der älteren deutschen Patentanmeldung DE 101 10 500 A1 ist eine optimierte Schubabschaltungsstrategie bekannt, bei der die Schubabschaltung während der Schubphase unter gewissen Voraussetzungen unterdrückt wird, das heißt die Verbrennungskraftmaschine weiterhin mit einem zugeführten Kraftstoff geheizt wird, insbesondere wenn hohe Katalysatortemperaturen vorliegen. Dabei wird ein Lambdasollwert von $\lambda \leq 1$ im geheizten Schubbetrieb bevorzugt. Auf diese Weise wird einer Katalysatoralterung aufgrund hoher Sauerstoffbelastung bei hohen Katalysatortemperaturen entgegengewirkt. Verschiedene Strategien der Lambdasollwertvorgabe zur Temperatursteuerung des Katalysatorsystems und zur Kompensation eines im geheizten Schubbetrieb erzeugten Nutzmomentes werden in dieser Anmeldung vorgeschlagen. Die ältere Anmeldung umfasst jedoch keine Strategie zur Umschaltung von einem geheizten Betrieb in den ungeheizten Schubbetrieb, wenn beispielsweise eine ausreichend niedrige Katalysatortemperatur vorliegt. Wird zur Umschaltung am Ende der geheizten Betriebsphase die Kraftstoffzufuhr zumindest nahezu unvermittelt ausgesetzt, erfolgt ein plötzlicher Momenteneinbruch. Ferner wird das noch immer mit Reduktionsmitteln geflutete Katalysatorsystem mit ho-

hen Sauerstoffmassenströmen beaufschlagt, so dass zumindest lokal und temporär gewisse Exothermiespitzen das Katalysatorsystem belasten. Dies macht sich insbesondere bei einem üblicherweise weniger stark ausgekühlten Vorkatalysator bemerkbar.

[0006] Bekannt ist ferner, beim Übergang von einem gefeuerten in einen ungefeuerten Betrieb für wenige Arbeitsspiele (beispielsweise höchstens 10, insbesondere etwa 5) des Motors eine gegenüber dem gefeuerten Betrieb reduzierte Kraftstoffmenge einzuspritzen. Unter Arbeitsspiel wird hier ein einmaliges Durchlaufen der Zündfolge des Motors verstanden. Die während des gefeuerten Betriebs im Brennraum und gegebenenfalls im Saugrohr eingelagerten Kraftstoffmassen, die einen so genannten Wandfilm ausbilden, werden bei Drosselung des Motors durch Verdampfen abgetragen. Diese Massen reichen jedoch nicht aus, um ein zündfähiges Gemisch bereitzustellen; sie würden ohne weitere Kraftstoffzugabe daher unverbrannt das Katalysatorsystem beaufschlagen und dort eine zumindest lokale Temperaturerhöhung verursachen. Daher wird der Wandfilmabtrag modelliert und während des Abtrages eine Differenzmenge an Kraftstoff zur sicheren Zündung zugegeben. Diese Funktion ist üblicherweise in eine als „Dashpot“ bezeichnete Funktion integriert (Drosselklappen-Schließdämpfung).

[0007] Die DE 39 26 096 A1 offenbart zudem ein Verfahren zur Kraftstoffabschaltung beim Übergang vom gefeuerten Betrieb in den Schubbetrieb. Die DE 44 45 462 A1 offenbart im Schubbetrieb die Kraftstoffzufuhr abzuschalten, wobei beim Übergang in diese sogenannte Schubabschaltung zur Komfortverbesserung der Zündwinkel der Brennkraftmaschine verändert wird. Ferner wird auf die DE 196 19 320 A1, DE 197 51 928 A1, DE 199 43 914 A1 und DE 199 58 251 A1 verwiesen.

[0008] DE 698 21 810 T2 und DE 196 30 944 A1 offenbaren, dass im Schubbetrieb eine Kraftstoffzufuhrabschaltung durchgeführt wird, wenn eine Katalysatortemperatur niedrig genug ist.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein besonders katalysatorschonendes Verfahren zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine von einem gefeuerten Schub- oder Lastbetrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb zur Verfügung zu stellen, welches schädigende Temperaturspitzen weitgehend vermeidet und ohne signifikanter Änderung des Fahrverhaltens durchführbar ist. Darüber hinaus soll eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitgestellt werden.

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren und Vorrichtungen mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 beziehungsweise 23 gelöst.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass zur Umschaltung von dem gefeuerten Betrieb in den ungefeuerten Schubbetrieb vor Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr eine Übergangsphase durchgeführt wird, wobei während der Übergangsphase ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs vorliegender Zündwinkel in Richtung „spät“ verstellt wird und/oder ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs eingestellter Lambdasollwert in Richtung „mager“ verschoben wird.

[0012] Kennzeichnend ist vorgesehen, dass

- wenn eine Katalysatortemperatur mindestens eines Katalysators eine erste vorgebbare Temperaturschwelle überschreitet, die Schubabschaltung nicht zugelassen und die Schubphase gefeuert betrieben wird;

- wenn die Katalysatortemperatur mindestens eines Katalysators eine zweite vorgebbare Temperaturschwelle, nicht aber die erste vorgebbare Temperaturschwelle überschreitet, eine Umschaltung vom gefeuerten Lastbetrieb in den ungefeuerten Schubbetrieb unter Zwischenschaltung der Übergangsphase durchgeführt wird; und

- bei Katalysatortemperaturen der Katalysatoren unterhalb der zweiten Temperaturschwelle weder die Übergangsphase noch der gefeuerte Schubbetrieb zugelassen sind.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren kann allgemein beim Übergang von einem gefeuerten (Schub- oder Last-)Betrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb durchgeführt werden. Insbesondere findet das Verfahren Anwendung beim Übergang von einem gefeuerten Schubbetrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb.

[0014] Erfindungsgemäß setzt also die Schubabschaltung nicht schlagartig ein, sondern es wird eine Übergangsphase (oder ein „Phase Out“) durchgeführt, indem zwei Maßnahmen, nämlich Zündwinkelspätverstellung und „Ausmagerung“, alternativ oder bevorzugt in Kombination miteinander, ausgeführt werden. Die Übergangsphase umfasst mindestens zwanzig, vorzugsweise wenigstens fünfzig Arbeitsspiele und ist somit gegenüber dem eingangs erläuterten Verfahren zum Wandfilmabtrag deutlich verlängert.

[0015] Durch die Zündwinkelspätverstellung wird ein Motorwirkungsgrad zunehmend verschlechtert und somit ein Momentenabbau während der Übergangsphase bewirkt. Auf diese Weise liegt zum Zeitpunkt der Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr ein sehr später Zündwinkel und somit ein nur noch geringes Motordrehmoment der Verbrennungskraftmaschine vor, so dass die Schubabschaltung mit einem relativ geringen Momenteneinbruch einhergeht. Somit ist

gegenüber bekannten Strategien zur Einleitung einer Schubabschaltung eine allenfalls geringe Auswirkung auf ein Fahrverhalten zu erwarten.

[0016] Die zweite erfindungsgemäße Übergangsmaßnahme besteht in der Lambdasollwertverschiebung während der Übergangsphase in Richtung „mager“. Diese „Ausmagerung“ kann zeitlich vor, während und/oder nach der Zündwinkelverstellung durchgeführt werden. Mit dieser Maßnahme wird eine nahezu schlagartige Flutung des Katalysatorsystems mit Sauerstoff bei Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr vermieden. Somit wird eine an den Katalysatoren befindliche Reduktionsmittelmasse, insbesondere von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC, durch allmähliche Steigerung der beaufschlagenden Sauerstoffkonzentration kontrolliert zumindest weitgehend abreagiert. Dies ist bei der bekannten Dashpot-Funktion aufgrund der kurzen Zeitdauer und der nicht kontrolliert erfolgenden Lambdasollwertverschiebung nicht oder nur in einem sehr eingeschränkten Maß der Fall. Eine bei unvermittelter Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr sonst erfolgende extrem schnelle Verbrennung von HC mit entsprechend hohen lokalen Temperaturspitzen wird auf diese Weise verhindert. Die Umschaltung erfolgt daher besonders katalysatorschonend, insbesondere für einen möglichen Vorkatalysator.

[0017] Grundsätzlich wird aus Verbrauchsgründen angestrebt, Schubphasen über möglichst weite Bereiche ungefeuert, das heißt mit unterbrochener Kraftstoffzufuhr (Schubabschaltung), zu betreiben. Die Schubschaltung wird daher vorzugsweise nur unterdrückt, die Schubphase also zumindest zeitweise gefeuert betrieben, wenn besonders hohe Katalysatortemperaturen und/oder keine starken Gefälle strecken vorliegen. In entsprechender Weise ist gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugt vorgesehen, dass die Umschaltung vom gefeuerten Schubbetrieb in den ungefeuerten Schubbetrieb in Abhängigkeit der Katalysatortemperatur erfolgt, insbesondere wenn die Temperatur mindestens eines der Verbrennungskraftmaschine nachgeschalteten Katalysators eine erste vorgebbare Temperaturschwelle unterschreitet. In diesem Fall kann die Temperaturerhöhung des Katalysators, die durch die Sauerstoffbeaufschlagung bei Abschaltung der Kraftstoffzufuhr bewirkt wird, toleriert werden, da aufgrund des genügend ausgekühlten Katalysators eine schädigende, maximal zulässige Katalysatortemperatur nicht erreicht wird.

[0018] Ebenfalls aus Gründen des Kraftstoffverbrauchs erfolgt in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung eine Umschaltung von einem gefeuerten Lastbetrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb nur dann mit der erfindungsgemäß zwischengeschalteten Übergangsphase, wenn die Katalysatortemperatur eine vorgebbare zweite Temperaturschwelle, die

20 bis 200 K, vorzugsweise 30 bis 70 K unterhalb der ersten Temperaturschwelle liegt, überschreitet.

[0019] Die Umschaltung von dem gefeuerten Schubbetrieb in den ungefeuerten Schubbetrieb kann ferner in Abhängigkeit eines Gefälles eines Fahrzeugweges erfolgen, insbesondere wenn ein vorgegbares kritisches Gefälle überschritten wird. Auf der anderen Seite kann vorteilhaft vorgesehen sein, aus einer gefeuerten Schub- oder Lastphase nur dann unter Zwischenschaltung der Übergangsphase umzuschalten, wenn das Gefälle ein vorgegbares Gefälle unterschreitet. Auf diese Weise wird ein im gefeuerten Schubbetrieb beziehungsweise in der Übergangsphase erzeugtes Nutzmoment unterdrückt, das sich andernfalls ungünstig hinsichtlich einer gewünschten Fahrzeugverzögerung beziehungsweise eines Bremsweges auswirken kann und zu gefährlichen Fahrsituationen führen kann. Wird in solchen Situationen - auch bei hohen Katalysatortemperaturen - die Schubabschaltung sofort oder spätestens nach Ablauf der Dashpot-Funktion zugelassen, werden Gefährdungen aufgrund unerwünschter Nutzmomente ausgeschlossen.

[0020] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird während des gefeuerten Schubbetriebs vor Beginn der Übergangsphase der Zündwinkel auf einen maximal späten Ansteuerwert angesteuert. Dieser wird so gewählt, dass unter annähernd stationären Bedingungen eine maximal zulässige Katalysatortemperatur des mindestens einen Katalysators, vorzugsweise aller Katalysatoren, nicht überschritten wird. Beispielsweise kann hier ein Zündwinkel von 18 °KWW vor dem oberen Zündpunkt (ZOT) bei einer Motordrehzahl von 6000 min⁻¹ angesteuert werden. Diese Maßnahme bewirkt ein maximal niedriges, im gefeuerten Schubbetrieb erzeugtes Nutzmoment unter gleichzeitiger Gewährleistung unschädlicher Katalysatortemperaturen. Auf der anderen Seite folgt hieraus jedoch, dass bei der nachfolgend während der Übergangsphase durchgeführten Zündwinkelspätverstellung noch spätere Zündwinkel angesteuert werden, die unter stationären Bedingungen zu Katalysatortemperaturen führen würden, bei denen mit signifikanten Katalysatorschädigungen zu rechnen wäre. Daher sieht eine weitere Ausgestaltung der Erfindung vor, dass eine Dauer der Übergangsphase verhältnismäßig kurz gewählt wird, nämlich mindestens 0,5 s und höchstens 5 s beträgt, insbesondere 1 bis 3,5 s, vorzugsweise etwa 2 s. Dabei wird vorteilhaft die Dauer der Übergangsphase in Abhängigkeit von einer Motordrehzahl der Verbrennungskraftmaschine und/oder einer gemessenen oder modellierten Abgastemperatur und/oder einer gemessenen oder modellierten Katalysatortemperatur festgelegt. Unter diesen Bedingungen können extrem späte Zündwinkel, beispielsweise 10 °KWW vor ZOT bei einer Motordrehzahl von 6000

min⁻¹, im Laufe der Übergangsphase ohne signifikante Katalysatorschädigung erreicht werden.

[0021] Die Verstellung des Zündwinkels während der Übergangsphase kann schrittweise oder kontinuierlich erfolgen. Im letzten Fall hat sich eine vorgebbare Verstellgeschwindigkeit von 1 bis 20° Kurbelwellenwinkel pro Sekunde, vorzugsweise von etwa 5° KWW/s, als besonders vorteilhaft in Hinblick auf einen möglichst ruhigen Momentenübergang erwiesen. Nach Durchführung der Zündwinkelverstellung kann ein am Ende der Übergangsphase vorliegender spätester Zündwinkel noch für maximal zwei Sekunden gehalten werden, ehe die Kraftstoffzufuhr unterbrochen wird.

[0022] Wegen der Kürze der Einwirkdauer eines am Ende der Lambdasollwertverschiebung während der Übergangsphase vorliegenden Lambdaendwertes kann im Zuge der „Ausmagerung“ eine Sauerstoffemission der Verbrennungskraftmaschine von 1 Vol.-% überschritten werden, welche bei einer Dauerbeaufschlagung bereits kritisch für das Katalysatorsystem wäre. Vorzugsweise erfolgt die Ausmagerung bis zu einem Endwert des Lambdasollwertes von mindestens 0,97 und höchstens 1,08, wobei der Endwert bevorzugt in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, der Katalysatortemperatur des mindestens einen Katalysators und/oder einer lambdabezogenen Abgaszusammensetzung hinsichtlich einer Rohemission von O₂, HC und CO festgelegt wird.

[0023] Ferner hat sich die Durchführung der Verschiebung des Lambdasollwertes mit einer Ausmagerungsgeschwindigkeit von 0,01 bis 0,3 s⁻¹, insbesondere von etwa 0,1 s⁻¹, als vorteilhaft erwiesen. Die Ausmagerungsgeschwindigkeit wird bevorzugt in Abhängigkeit von einem Abgasmassenstrom, der Katalysatortemperatur des mindestens einen Katalysators und/oder der lambdabezogenen Abgaszusammensetzung festgelegt.

[0024] Die Lambdasollwertvorgabe während des gefeuerten Schubbetriebes vor der Übergangsphase kann nach verschiedenen Strategien erfolgen, die beispielsweise in der erwähnten früheren Patentanmeldung DE 100 10 500 A1 näher beschrieben sind. Vorzugsweise wird die Verbrennungskraftmaschine in dieser Phase mit einem Lambdasollwert von höchstens 0,95 betrieben. Dabei kann besonders vorteilhaft der Lambdasollwert in Abhängigkeit von der gemessenen oder berechneten Abgastemperatur und/oder der Katalysatortemperatur/en vorgegeben werden. Gemäß einer alternativen Strategie wird der Lambdasollwert derart eingeregelt, dass eine vorgegebene maximal zulässige Temperatur des Abgases und/oder des mindestens einen Katalysators eingehalten wird, wodurch der durch die Feuerung der Schubphase hervorgerufene Kraftstoffverbrauch gering gehalten wird.

[0025] Ferner kann besonders vorteilhaft eine in Nicht-Schubphasen (Vortriebsphasen) vorgegebene zulässige Maximaltemperatur für die Katalysatoren um 5 bis 100 K, insbesondere um 10 bis 50 K, vorzugsweise um 20 bis 30 K, angehoben werden, wodurch der Kraftstoffverbrauch verringert wird. Diese Maximaltemperaturanhebung kann toleriert werden, weil durch die erfindungsgemäße Steuerung der Schubphase das Auftreten schubabschaltungsbedingter Temperaturspitzen in den Katalysatoren in sicherer Weise zumindest weitgehend unterbunden wird.

[0026] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ferner durch eine Vorrichtung gelöst, die durch Mittel gekennzeichnet ist, welche eingerichtet sind, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

[0027] Die Mittel umfassen insbesondere einen Algorithmus zur Durchführung der Verfahrensschritte in digitaler Form, der in einer Steuereinheit, vorzugsweise in einem vorhandenen Motorsteuergerät, hinterlegt ist.

[0028] Es ist ferner bevorzugt vorgesehen, dass der oder die verwendete/n Katalysator/en in Abgasanlagen direkteinspritzender schichtladefähiger Ottomotoren, die in im Neuen Europäischen Fahrzyklus NEFZ betriebenen Fahrzeugen im thermisch ungeschädigten Zustand für mindestens 250 s im Schichtlademodus betrieben werden und weniger als 0,07 g/km HC-Emission und weniger als 0,05 g/km NO_x-Emission aufweisen, einen Edelmetallgehalt der Edelmetalle Platin, Palladium und/oder Rhodium von maximal 3,74 g/l Katalysatorvolumen (entsprechend 104 g/ft³), insbesondere von höchstens 2,87 g/l (80 g/ft³) aufweisen. Dies bedeutet eine Absenkung des Edelmetallgehaltes um mindestens 20 % gegenüber gemäß dem Stand der Technik eingesetzten Katalysatoren, die üblicherweise einen Edelmetallgehalt von etwa 4,67 g/l (130 g/ft³) aufweisen. Diese kostengünstige Edelmetallbeladung der Katalysatoren ist deshalb möglich, weil durch die erfindungsgemäß optimierte Schubabschaltung eine Katalysatoralterung gegenüber herkömmlichen Verfahren verzögert wird und die sonst übliche Alterung nicht durch entsprechend hohe Edelmetallanteil kompensiert werden muss.

[0029] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch einen Aufbau einer Verbrennungskraftmaschine mit nachgeschaltetem Abgastrakt;

Fig. 2 zeitliche Verläufe eines Lambdasollwertes, einer Katalysatortemperatur eines Vor- und eines Hauptkatalysators, eines Zündwinkels sowie einer Sauerstoffrohmission einer Verbrennungskraftmaschine bei einer Schubphase mit Schubabschaltung gemäß Stand der Technik;

Fig. 3 zeitliche Verläufe der Größen gemäß **Fig. 2** nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäß optimierten Schubphasensteuerung; und

Fig. 4 schematisch die erfindungsgemäße Strategie zur Umschaltung eines gefeuerten Betriebs in einen ungefeuerten Schubbetrieb in Abhängigkeit von der Katalysatortemperatur.

[0031] **Fig. 1** zeigt in schematischer Darstellung eine Verbrennungskraftmaschine **10** mit einem ihr nachgeschalteten Abgaskanal **12**. Bei der Verbrennungskraftmaschine **10** handelt es sich bevorzugt um einen mit einer nicht dargestellten Kraftstoffdirekteinjection ausstatteten Ottomotor, der im Niedrig- und Teillastbereich zu einem mageren Schichtladebetrieb befähigt ist. In dem verbrauchsgünstigen mageren Schichtladebetrieb wird eine zündfähige Kraftstoffwolke lediglich im Bereich einer Zündkerze erzeugt, während im übrigen Brennraum annähernd reine Luft vorliegt. Die Erzeugung und Stabilisierung der Kraftstoffwolke wird durch einen späten Einspritzzeitpunkt bewirkt und kann in bekannter Weise ferner durch bauliche Maßnahmen, etwa einer in einem Lufteinlasskanal angeordneten Ladungsbewegungsklappe und/oder einer muldenartigen Ausgestaltung eines Kolbenbodens, unterstützt werden.

[0032] Zur Reinigung eines von der Verbrennungskraftmaschine **10** kommenden Abgases beherbergt der Abgaskanal **12** einen motornahen, kleinvolumigen Vorkatalysator **14**, typischerweise einen 3-Wege-Katalysator, sowie einen diesem nachgeschalteten großvolumigen NO_x -Speicher-Katalysator **16**. Der NO_x -Speicher-Katalysator **16** wird diskontinuierlich mit mageren und fetten Abgasatmosphären beaufschlagt, wobei in den mageren Betriebsphasen eine Einlagerung von Stickoxiden NO_x stattfindet und in den kurzen zwischengeschalteten fetten Betriebsphasen eine NO_x -Regeneration und -Konvertierung.

[0033] Die Regelung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses (des Lambdasollwertes) der Verbrennungskraftmaschine **10** erfolgt typischerweise mit Hilfe einer stromauf des Vorkatalysators **14** angeordneten Lambdasonde **18**, insbesondere einer Breitband-Lambdasonde, die eine Sauerstoffkonzentration des Abgases misst. Ein weiterer Gassensor **20** ist stromab des NO_x -Speicher-Katalysators **16** installiert und dient der Überwachung der Konvertierungsaktivität

des Speicher-Katalysators **16**. Der Gassensor **20** kann ebenfalls eine Lambdasonde oder vorzugsweise ein NO_x -Sensor sein. Ein optionaler Temperatursensor **22** ermittelt eine Abgastemperatur vor dem NO_x -Speicher-Katalysator **16**, woraus seine Katalysatortemperatur ermittelt werden kann. Alternativ kann die Katalysatortemperatur des NO_x -Speicher-Katalysators **16** sowie auch des Vorkatalysators **14** auch mittels last- und drehzahlabhängiger Kennfelder in bekannter Weise modelliert werden.

[0034] Die von den Sensoren **18**, **20**, **22** bereitgestellten Signale sowie verschiedene Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine **10** finden Eingang in ein Motorsteuergerät **24**, welches anhand gespeicherter Algorithmen und Kennfelder den Betrieb der Verbrennungskraftmaschine **10** steuert. Insbesondere ist hier ein Algorithmus **26** zur Steuerung der erfindungsgemäßen, nachfolgend näher ausgeführten Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine **10** von einem gefeuerten Schub- oder Lastbetrieb in einen ungefeuerten Schubbetrieb eines von der Verbrennungskraftmaschine **10** angetriebenen Kraftfahrzeuges (nicht dargestellt) hinterlegt.

[0035] Zunächst verdeutlicht **Fig. 2** anhand des Verlaufes verschiedener Kenngrößen die katalysatorschädigende Temperaturbelastung während einer herkömmlich gesteuerten Schubphase. Zunächst befindet sich die Verbrennungskraftmaschine **10** beispielsweise aufgrund einer hohen Fahrzeuggeschwindigkeit in einer weitgehend konstanten Hochlastphase τ_L , bei der die Verbrennungskraftmaschine **10** in einem gefeuerten Lastbetrieb **BLF** mit einem fetten Lambdasollwert mit $\lambda < 1$ und einem last- und drehzahlabhängigen Zündwinkel **ZW** von beispielsweise 15 bis 20 °KWW vor ZOT betrieben wird. Entsprechend einem bei dem fetten Lambdasollwert λ vorherrschenden Luftunterschuss liegt eine nur sehr geringe Sauerstoffrohmission $\text{O}_2\text{-RE}$ der Verbrennungskraftmaschine **10** vor, so dass das Abgas vor dem Vorkatalysator **14** weit weniger als 1 % Sauerstoff enthält. Die Katalysatortemperaturen TK_V und TK_H des Vorkatalysators **14** beziehungsweise des NO_x -Speicher-Katalysators **16** befinden sich aufgrund einer betriebspunktbedingt hohen Abgastemperatur und einem hohen Reduktionsmittelanteil des fetten Abgases, welcher begrenzt durch die Sauerstoffrohmission $\text{O}_2\text{-RE}$ exotherm an den Katalysatoren **14**, **16** umgesetzt wird, auf relativ hohem Niveau oberhalb von 750 °C. (Dargestellt sind die lokalen Temperatur in einer Beschichtung (Washcoat) in einer Reaktionszone der Katalysatoren **14**, **16**.) Dabei liegt die Temperatur TK_V des Vorkatalysators **14** noch oberhalb der des Hauptkatalysators **16**, da einerseits zumindest ein Teil der Konvertierungsleistung der Reduktionsmittel (HC, CO) durch den Vorkatalysator **14** erbracht wird und andererseits ein Wärmeverlust über die Abgaslaufstrecke bis zum NO_x -Speicher-Katalysator **16** stattfindet.

[0036] Zu einem durch die vertikale Doppellinie in **Fig. 2** gekennzeichneten Zeitpunkt setzt eine Schubphase τ_S ein, beispielsweise weil der Fahrer eine Gasanforderung zurücknimmt, etwa um eine Verzögerung herbeizuführen. Während der Schubphase τ_S ist ein angefordertes Fahrwunschlastermoment kleiner oder gleich einem momentanen durch die Fahrwiderstände erzeugten Schubmoment. Gemäß üblicher Verfahren erfolgt während der Schubphase τ_S eine Schubabschaltung, indem gegebenenfalls nach Ablauf einer oben erläuterten Dashpot-Funktion eine Kraftstoffzufuhr der Verbrennungskraftmaschine **10** unterbrochen wird. Infolgedessen nimmt der Lambdasollwert λ einen praktisch gegen unendlich gehenden positiven Wert an und die Sauerstoff-Rohemission **O₂-RE** erreicht - entsprechend einem Sauerstoffanteil der Luft - einen Wert von etwa 20 %. Wegen dieser nunmehr hohen Sauerstoffkonzentration des Abgases kommt es zu intensiven, sehr schnell verlaufenden Konvertierungsreaktionen der zunächst noch hohen HC-Mengen an den Katalysatoren **14**, **16**. Infolgedessen treten zu Beginn der ungefeuerten Schubphase τ_S intensive Temperaturspitzen in den Katalysatoren **14**, **16** auf. In Abhängigkeit von dem vor der Schubabschaltung vorliegenden Ausgangstemperaturniveau können die Katalysatortemperaturen **TK_V**, **TK_H** dabei einen kritischen Temperaturbereich erreichen, in welchem die Katalysatoren **14**, **16** irreversibel geschädigt werden können. So finden etwa in **NO_x**-Speicher-katalysatoren Sinterungsprozesse statt, die zu einer permanenten Entmischung der **NO_x**-Speicher- und Katalysatorkomponenten führen können.

[0037] Um das Auftreten von Temperaturspitzen in Schubphasen wirkungsvoll zu unterdrücken, wird erfindungsgemäß die Schubabschaltung in Schubphasen unter bestimmten Voraussetzungen, insbesondere bei hohen Katalysatortemperaturen **TK_V**, **TK_H**, unterdrückt, indem die Verbrennungskraftmaschine **10** auch während der Schubphase τ_S gefeuert betrieben wird. Dieses Prinzip ist in einer einfachen Ausführung in **Fig. 3** dargestellt, ausgehend von dem gleichen Betriebspunkt wie in **Fig. 2**. Nach Beginn der Schubphase τ_S wird die Verbrennungskraftmaschine **10** in einem gefeuerten Schubbetrieb **BSF** auf einen gegenüber der vorausgegangenen Lastphase angehobenen (magereren) Lambdasollwert λ eingeregelt, der so gewählt wird, dass ein kritischer Sauerstoffgehalt des Rohabgases, insbesondere von 1 %, noch unterschritten wird, um ein unkontrolliertes Abbrennen von HC an den Katalysatoren **14**, **16** zu verhindern. Vorzugsweise wird ein Lambdasollwert von $\lambda \leq 1,00$, vorzugsweise von $\lambda \leq 0,95$, eingeregelt. Alternativ kann auch eine maximal zulässige Katalysatortemperatur für einen oder beide Katalysatoren **14**, **16** vorgegeben werden und der Lambdawert λ so eingeregelt werden, dass sich diese Temperaturen an den Katalysatoren einstellen, aber nicht überschritten werden.

[0038] Gleichzeitig wird die Verbrennungskraftmaschine **10** während des gefeuerten Schubbetriebs **BSF** mit einem maximal späten Zündwinkel **ZW** betrieben, um ein möglichst geringes Nutzmoment zu erzeugen. Dabei wird der Zündwinkel **ZW** vorzugsweise so gewählt, dass sich eine annähernd konstante Temperatur **TK_V** des Vorkatalysators **14** einstellt, die jedoch die kritische Katalysatortemperatur nicht überschreitet. Beispielsweise wird bei einer aktuellen Motordrehzahl von 6000 min⁻¹ ein Zündwinkel von 12 °KWW vor ZOT angesteuert.

[0039] Infolge der in der Schubphase τ_S nur sehr geringen Motorlast erfolgt während des gefeuerten Schubbetriebs **BSF** eine mehr oder weniger starke Abkühlung zumindest an einem der Katalysatoren **14**, **16**. Erreicht der temperaturempfindlichste Katalysator, hier der **NO_x**-Speicher-katalysator **16**, eine für diesen vorgegebene untere Temperaturschwelle **TSF**, hier beispielsweise bei 750 °C, wird die Unterdrückung der Schubabschaltung aufgehoben und die Kraftstoffzufuhr unterbrochen, um den Kraftstoffverbrauch im Schubbetrieb möglichst gering zu halten. Ein anderer Grund zur Umschaltung vom gefeuerten in den ungefeuerten Schubbetrieb kann ein festgestelltes starkes Gefälle sein, bei dem das im gefeuerten Schubbetrieb **BSF** erzeugte Nutzmoment sich kontraproduktiv auf die gewünschte Verzögerung auswirkt.

[0040] Würde an dieser Stelle die Kraftstoffzufuhr unvermittelt ausgesetzt, käme es zu einem zwar geringen aber für den Fahrer möglicherweise dennoch spürbaren Momenteneinbruch durch den abrupten Wegfall des in der gefeuerten Schubphase **BSF** erzeugten Nutzmomentes. Solche Momentenschwankungen werden üblicherweise von Fahrern als störend und irritierend empfunden. Ferner würde das noch immer mit Reduktionsmitteln, insbesondere mit HC, geflutete Katalysatorsystem **14**, **16** mit hohen Abgasmassenströmen und hohen Sauerstoffkonzentrationen (20 %) beaufschlagt, was zu einem heftigen Abbrennen an den Katalysatoren **14**, **16** führen würde. Hierdurch kann es zumindest lokal und kurzzeitig zu katalysatorschädigenden Temperaturspitzen der Katalysatortemperaturen **TK_V**, **TK_H** kommen.

[0041] Um diese Nachteile zu überwinden, wird erfindungsgemäß vor der Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr eine Übergangsphase **PO** („Phase Off“) durchgeführt, deren Dauer in Abhängigkeit von der Motordrehzahl und/oder der Abgastemperatur und/oder der Katalysatortemperatur/en **TK_V**, **TK_H** festgelegt wird, und hier etwa 2 s beträgt. Während der Übergangsphase **PO** wird der ohnehin bereits sehr späte Zündwinkel **ZW** der gefeuerten Schubphase **BSF** (hier 12 °KWW vor ZOT) noch weiter in Richtung spät mit einer vorgebbaren Verstellgeschwindigkeit vorzugsweise von etwa 5 °KWW/s verschoben. Anschließend kann abweichend von der Darstellung der

letzte Zündwinkel **ZW** noch für maximal 2 s gehalten werden. Der am Ende der Übergangsphase **PO** vorliegende, extrem späte Zündwinkel **ZW** von beispielsweise $8 \text{ }^\circ\text{KWW}$ vor ZOT bei 6000 min^{-1} würde unter dauerhafter Anwendung zu katalysatorschädigenden Temperaturen führen und ist hier nur aufgrund der Kürze seiner Anwendung tolerierbar. Die Zündwinkelspätverstellung während der Übergangsphase **PO** führt zu einem kontinuierlichen Abbau des Nutzmomentes des gefeuerten Schubbetriebs **BSF**, so dass bei der anschließenden Schubabschaltung (ungefeuerter Schubbetrieb **BSU**) kaum noch ein Momenteneinbruch wahrnehmbar ist.

[0042] Ferner wird während der Übergangsphase **PO** eine Ausmagerung durchgeführt, indem der Lambdasollwert λ mit einer vorgebbaren Ausmagerungsgeschwindigkeit von beispielsweise etwa $0,1 \text{ s}^{-1}$ in Richtung „mager“, das heißt zu einem sauerstoffreicheren Gemisch, angehoben wird. Dabei wird vorzugsweise ein Endwert von mindestens 0,97 und höchstens 1,08 erreicht, wobei sogar die kritische Sauerstoffkonzentration von 1 % im Rohabgas überschritten werden kann. Durch die Ausmagerung wird eine kontinuierliche Sauerstoffanreicherung im Abgas und an den Katalysatoren **14**, **16** und somit ein kontrolliertes Abbrennen der hier vorliegenden Reduktionsmittel bewirkt. Hierdurch kommt es zwar zu einer gewissen Erwärmung der Katalysatoren **14**, **16**, ausgeprägte Exothermiespitzen werden jedoch nicht beobachtet.

[0043] Der Effekt des heftigen Abbrennens des in den Katalysatoren **14**, **16** noch verbleibenden Reduktionsmittels liegt im Allgemeinen beim Übergang vom gefeuerten (Last- oder Schub-) Betrieb in den ungefeuerten Schubbetrieb vor. Ein Zwischenschalten der Übergangsphase **PO** kann aber auch ohne vorhergehenden gefeuerten Schubbetrieb sinnvoll sein, insbesondere bei Überschreiten einer zweiten vorgebbaren Katalysatortemperaturschwelle **TPO**, wobei diese Schwelle **20** bis **200** K, besonders vorteilhaft 30 bis 70 K unterhalb der für die Anforderung des gefeuerten Schubbetriebs **BSF** geltenden Temperaturschwelle **TSF** (vgl. **Fig. 3**) liegt.

[0044] Die Gesamtstrategie verdeutlicht abschließend **Fig. 4**. Bei niedrigen Temperaturen **TK** der Katalysatoren **14**, **16** unterhalb der Temperaturschwelle **TPO** ist weder die Übergangsphase **PO** noch der gefeuerte Schubbetrieb **BSF** zugelassen. Tritt in diesem unteren Temperaturbereich ein Betriebspunktwechsel aus einer Last- in eine Schubphase ein ($\tau_L \rightarrow \tau_S$), so wird unter Unterdrückung der Übergangsphase **PO** von dem gefeuerten Lastbetrieb **BLF** in den ungefeuerten Schubbetrieb **BSU** umgeschaltet. Ferner wird in diesem Temperaturbereich eine Schubphase τ_S grundsätzlich ungefeuert betrieben (**BSU**).

[0045] Überschreitet die Katalysatortemperatur **TK** mindestens eines Katalysators **14**, **16**, insbesondere des Vorkatalysators **14**, die Temperaturschwelle **TPO** zur Zulassung der Übergangsphase **PO**, so wird die Umschaltung vom gefeuerten Lastbetrieb **BLF** in den ungefeuerten Schubbetrieb **BSU** unter Zwischenschaltung der erfindungsgemäßen Übergangsphase **PO** (jedoch ohne vorgeschalteten gefeuerten Schubbetrieb **BSF**) durchgeführt. Ferner wird auch in diesem Temperaturbereich unterhalb **TSF** eine Schubphase τ_S grundsätzlich ungefeuert betrieben **BSU**.

[0046] Überschreitet die Katalysatortemperatur **TK** mindestens eines Katalysators **14**, **16** sogar die Temperaturschwelle **TSF** zur Anforderung der gefeuerten Schubphase **BSF**, wird die Schubabschaltung nicht mehr zugelassen und die Schubphase τ_S gefeuert betrieben (**BSF**). Eine Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine **10** aus einer Lastphase τ_L in eine Schubphase τ_S erfolgt, wie anhand **Fig. 3** erläutert, zunächst durch Übergang in den gefeuerten Schubbetrieb **BSF**. Erst nach Vorliegen einer vorgebbaren Umschaltbedingung, beispielsweise einer die Temperaturschwelle **TSF** unterschreitenden Temperatur **TK** der Katalysatoren **14**, **16**, schließt sich die erfindungsgemäße Übergangsphase **PO** an, gefolgt von der ungefeuerten Schubabschaltung **BSU**.

[0047] Mit diesem Maßnahmenpaket kann ein optimaler Katalysatorschutz bei geringst möglichen Nachteilen hinsichtlich Verbrauch und Fahrverhalten erzielt werden.

Bezugszeichenliste

10	Verbrennungskraftmaschine
12	Abgaskanal
14	Vorkatalysator
16	Hauptkatalysator / NO_x -Speicherkatalysator
18	Lambdasonde
20	NO_x -Sensor
22	Temperatursensor
24	Motorsteuergerät
λ	Lambdasollwert (Luft-Kraftstoff-Verhältnis)
τ_L	Lastphase
τ_S	Schubphase
BLF	gefeuerter Lastbetrieb
BSF	gefeuerter Schubbetrieb (Schubabschaltung)
BSU	ungefeuerter Schubbetrieb

KWW	Kurbelwellenwinkel
O₂-RE	Sauerstoffrohmission
PO	Übergangsphase (Phase Out)
t	Zeit
TSF	Temperaturschwelle zur Anforderung des gefeuerten Schubbetriebs
TK	Katalysatortemperatur
TK_H	Katalysatortemperatur NO _x -Speicher-katalysator
TK_V	Katalysatortemperatur Vorkatalysator
TPO	Temperaturschwelle zur Zulassung der Übergangsphase
ZW	Zündwinkel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine (10) eines Kraftfahrzeuges mit mindestens einem nachgeschalteten Katalysator (14, 16) von einem in einer Lastphase (τ_L) oder einer Schubphase (τ_S) durchgeführten gefeuerten Betrieb (BLF, BSF) in einen ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) durch Unterbrechung einer Kraftstoffzufuhr, wobei während der Schubphase (τ_S) ein angefordertes Fahrwunschkmoment kleiner oder gleich einem momentanen Schubmoment des Fahrzeuges ist, wobei zur Umschaltung von dem gefeuerten Betrieb (BLF, BSF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) vor Unterbrechung der Kraftstoffzufuhr eine Übergangsphase (PO) durchgeführt wird, wobei während der Übergangsphase (PO) ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs (BLF, BSF) vorliegender Zündwinkel (ZW) in Richtung „spät“ verstellt wird und/oder ein während des vorausgegangenen gefeuerten Betriebs (BLF, BSF) eingestellter Lambdasollwert (λ) in Richtung „mager“ verschoben wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- wenn eine Katalysatortemperatur (TK) mindestens eines Katalysators (14, 15) eine erste vorgebbare Temperaturschwelle (TSF) überschreitet, die Schubabschaltung nicht zugelassen und die Schubphase (τ_S) gefeuert betrieben wird (BSF);
- wenn die Katalysatortemperatur (TK) mindestens eines Katalysators (14, 15) eine zweite vorgebbare Temperaturschwelle (TPO), nicht aber die erste vorgebbare Temperaturschwelle (TSF) überschreitet, eine Umschaltung vom gefeuerten Lastbetrieb (BLF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) unter Zwischenschaltung der Übergangsphase (PO) durchgeführt wird; und
- bei Katalysatortemperaturen (TK) der Katalysatoren (14, 15) unterhalb der zweiten Temperaturschwelle (TPO) weder die Übergangsphase (PO) noch der gefeuerte Schubbetrieb (BSF) zugelassen sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Übergangsphase (PO) über eine Dauer von mindestens zwanzig Arbeitsspielen der Verbrennungskraftmaschine (10), insbesondere von mindestens fünfzig Arbeitsspielen, durchgeführt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Umschaltung von dem gefeuerten Schubbetrieb (BSF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) erfolgt, wenn ein vorgegbares kritisches Gefälle eines Fahrzeugweges überschritten wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite vorgebbare Temperaturschwelle (TPO) um 20 bis 200 K, insbesondere um 30 bis 70 K, kleiner als die erste vorgebbare Temperaturschwelle (TSF) zur Umschaltung vom gefeuerten Schubbetrieb (BSF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) vorgegeben wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Umschaltung von dem gefeuerten Schubbetrieb (BSF) oder Lastbetrieb (BLF) in den ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) nur dann mit zwischengeschalteter Übergangsphase (PO) erfolgt, wenn ein festgestelltes Gefälle eines Fahrzeugweges ein vorgegbares Gefälle unterschreitet.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des gefeuerten Schubbetriebs (BSF) vor Beginn der Übergangsphase (PO) der Zündwinkel (ZW) auf einen maximal späten Ansteuerwert angesteuert wird, bei dem unter annähernd stationären Bedingungen eine maximal zulässige Katalysatortemperatur (TK) des mindestens einen Katalysators (14, 16) nicht überschritten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des gefeuerten Schubbetriebs (BSF) vor Beginn der Übergangsphase (PO) der Zündwinkel (ZW) derart vorgegeben wird, dass ein Vorkatalysator (14) eine wenigstens annähernd konstante Katalysatortemperatur (TK_V) aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verstellung des Zündwinkels (ZW) während der Übergangsphase (PO) schrittweise oder kontinuierlich mit einer vorgebbaren Verstellgeschwindigkeit, insbesondere mit einer Verstellgeschwindigkeit von 1 bis 20 °KWW /s, insbesondere von etwa 5 °KWW /s, erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dauer der Zündwinkelverstellung mindestens 0,5 s und höchstens 5 s, insbeson-

dere mindestens 1 s und höchstens 3,5 s, insbesondere etwa 2 s beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dauer der Zündwinkelverstellung in Abhängigkeit von einer Motordrehzahl und/oder einer Abgastemperatur und/oder der Katalysatortemperatur (TK) des mindestens einen Katalysators (14, 16) festgelegt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Durchführung der Zündwinkelverstellung ein am Ende der Übergangsphase (PO) vorliegender Zündwinkel (ZW) noch für 0 bis höchstens 2 s gehalten wird, ehe die Kraftstoffzufuhr unterbrochen wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verschiebung des Lambdasollwertes (λ) in Richtung „mager“ zeitlich vor, während und/oder nach der Zündwinkelverstellung durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lambdasollwert (λ) während der Übergangsphase (PO) bis zu einem Endwert von mindestens 0,97 und höchstens 1,08 verschoben wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Endwert des Lambdasollwertes (λ) in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, der Katalysatortemperatur (TK) des mindestens einen Katalysators (14, 16) und/oder einer lambdabezogenen Abgaszusammensetzung festgelegt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verschiebung des Lambdawertes mit einer Ausmagerungsgeschwindigkeit von 0,01 bis 0,3 s⁻¹, insbesondere von etwa 0,1 s⁻¹, durchgeführt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausmagerungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einem Abgasmassenstrom, der Katalysatortemperatur (TK) des mindestens einen Katalysators (14, 16) und/oder der lambdabezogenen Abgaszusammensetzung festgelegt wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des gefeuerten Schubbetriebs (BSF) vor der Übergangsphase (PO) die Verbrennungskraftmaschine (10) mit einem Lambdasollwert (λ) von höchstens 1,00, insbesondere höchstens 0,95, betrieben wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lambdasollwert (λ) während des gefeuerten Schubbetriebs (BSF) vor der Übergangsphase (PO) in Abhängigkeit von einer ge-

messenen oder berechneten Abgastemperatur und/oder Katalysatortemperatur (TK) des mindestens einen Katalysators (14, 16) vorgebar ist.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lambdasollwert (λ) während des gefeuerten Schubbetriebs (BSF) vor der Übergangsphase (PO) derart eingeregelt wird, dass eine vorgegebene maximal zulässige Temperatur (T_{\max}) des Abgases und/oder des mindestens einen Katalysators (14, 16) sich einstellt.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kraftstoffzufuhr durch Direkteinspritzung des Kraftstoffes in Zylinder der Verbrennungskraftmaschine (10) erfolgt.

21. Verfahren nach Anspruch 20 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbrennungskraftmaschine (10) ein schichtladefähiger Ottomotor ist.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein NO_x-Speicherkatalysator(16) als Hauptkatalysator eingesetzt wird.

23. Vorrichtung zur Umschaltung einer Verbrennungskraftmaschine (10) eines Kraftfahrzeuges mit mindestens einem nachgeschalteten Katalysator (14, 16) von einem in einer Lastphase (τ_L) oder einer Schubphase (τ_S) durchgeführten gefeuerten Betrieb (BLF, BSF) in einen ungefeuerten Schubbetrieb (BSU) durch Unterbrechung einer Kraftstoffzufuhr, wobei während der Schubphase (τ_S) ein angefordertes Fahrwunschkmoment kleiner oder gleich einem momentanen Schubmoment des Fahrzeuges ist, **gekennzeichnet durch** Mittel, die eingerichtet sind, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 22 auszuführen.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mittel einen Algorithmus (26) zur Durchführung der Verfahrensschritte in digitaler Form umfassen.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Algorithmus (26) in einer Steuereinheit, insbesondere in einem Motorsteuerggerät (24), hinterlegt ist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, **gekennzeichnet durch** einen Edelmetallgehalt zumindest eines Katalysators (14, 16) von höchstens 3,74 g/l (104 g/ft³) Katalysatorvolumen.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, **gekennzeichnet durch** einen Edelmetallgehalt zumindest eines Katalysators (14, 16) von höchstens 2,87 g/l (80 g/ft³).

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

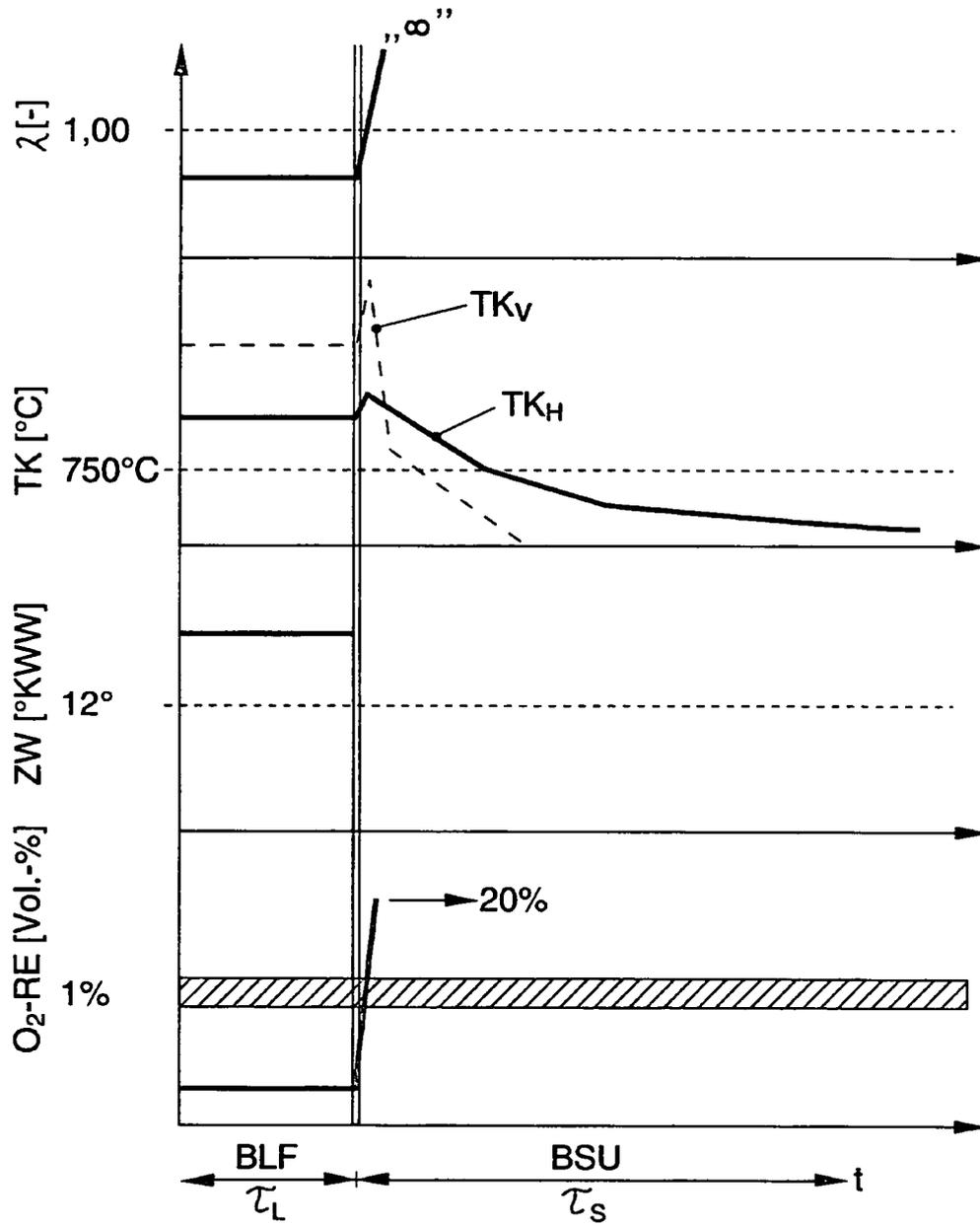


FIG. 2

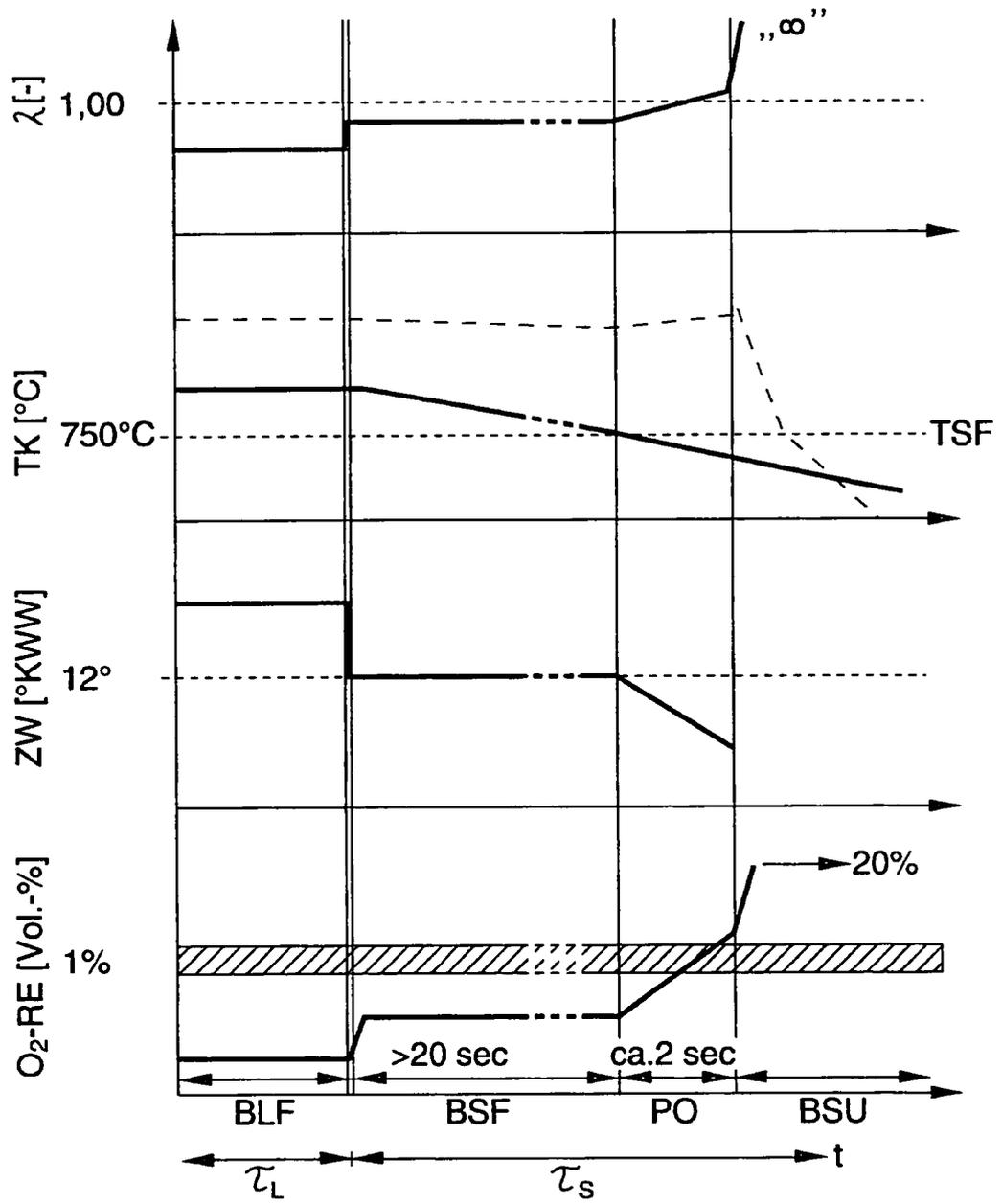


FIG. 3