(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
11. September 2009 (11.09.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/109540 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 41/30 (2006.01) *F02B 1/12* (2006.01)
F02B 1/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/052438

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. März 2009 (02.03.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 012 612.8 5. März 2008 (05.03.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BAUER, Erwin** [DE/DE]; Wolfsegger Str. 4, 93138 Lappersdorf (DE). **ELLMER, Dietmar** [DE/DE]; Küffnerstr. 4a, 93059 Regensburg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

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

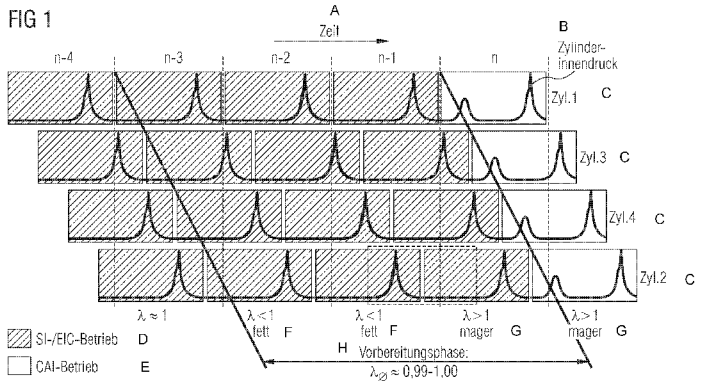
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR AN EMISSION-OPTIMIZED TRANSFER FROM A MODE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TO ANOTHER MODE

(54) **Bezeichnung**: VERFAHREN FÜR EINEN EMISSIONSOPTIMIERTEN WECHSEL VON EINER BETRIEBSART EINES VERBRENNUNGSMOTORS IN EINE ANDERE

FIG 1



A Time
B Cylinder internal pressure
C Cyl. (..)
D SI mode / EIC mode
E CAI mode
F rich
G lean
H Preparation phase

(57) **Abstract**: The invention relates to a method for an emission-optimized transition between a spark-ignition mode, in particular a SI mode, of an internal combustion engine and a self-ignition mode, in particular a CAI mode, of the internal combustion engine. According to the invention, the internal combustion engine is operated in the preparation phase and chronologically before the transition of modes in a spark-ignition mode in at least one cylinder cycle with a rich mixture ($\lambda < 1$) and, subsequently, in the same cylinder cycle with a lean mixture ($\lambda > 1$). After that, the internal combustion engine is operated in the self-ignition mode. The invention further relates to a method for an emission-optimized transition between a self-ignition mode, in particular a CAI mode, of an internal combustion engine and a spark-ignition mode, in particular a SI mode, of the internal combustion engine, wherein in a transition phase of the operation modes and during a last cycle of the self-ignition mode and/or a first cycle of the spark-ignition mode, fuel is post-injected into at least one combustion chamber of the internal combustion engine.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/109540 A2

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel aus einer fremdgezündeten Betriebsart, insbesondere einem SI-Betrieb, eines Verbrennungsmotors, in eine selbstzündende Betriebsart, insbesondere einen CAI-Betrieb, des Verbrennungsmotors, wobei der Verbrennungsmotor zeitlich vor dem Wechsel der Betriebsarten in einer Vorbereitungsphase, in wenigstens einem Zyklus eines Zylinders mit einem fetten Gemisch ($\lambda < 1$) und zeitlich darauf folgend in demselben Zylinder in wenigstens einem Zyklus mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) in der fremdgezündeten Betriebsart betrieben wird, und der Verbrennungsmotor zeitlich danach in der selbstzündenden Betriebsart betrieben wird. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel aus einer selbstzündenden Betriebsart, insbesondere einem CAI-Betrieb, eines Verbrennungsmotors, in eine fremdgezündete Betriebsart, insbesondere einen SI-Betrieb, des Verbrennungsmotors, wobei in einer Wechselphase der Betriebsarten, während eines letzten Zyklus der selbstzündenden Betriebsart und/oder während eines ersten Zyklus der fremdgezündeten Betriebsart, in wenigstens einen Brennraum des Verbrennungsmotors Kraftstoff nacheingespritzt wird.

Beschreibung

Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel von einer Betriebsart eines Verbrennungsmotors in eine andere

Die Erfindung betrifft ein Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel aus einer fremdgezündeten Betriebsart eines Verbrennungsmotors in eine selbstzündende Betriebsart, sowie ein Verfahren für den emissionsoptimierten Wechsel aus der selbstzündenden Betriebsart in die fremdgezündete Betriebsart des Verbrennungsmotors. Ferner betrifft die Erfindung eine Steuereinrichtung, mittels welcher ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist.

Ein moderner Verbrennungsmotor ist in der Lage, unterschiedliche Betriebsarten - so genannte Combined Combustion Prozesse - und verschiedene Betriebsstrategien darzustellen. So kann ein entsprechend ausgerüsteter Ottomotor, z. B. in einem Schichtladebetrieb (Stratified Mode) oder in einem Homogenbetrieb (Homogeneous Mode), betrieben werden. Ein CAI-fähiger Ottomotor (Controlled Auto Ignition) ist in der Lage, in bestimmten Betriebsbereichen in einem (kontrollierten) Selbstzündungsbetrieb betrieben zu werden. Außerhalb dieser Betriebsbereiche wird ein Luft-Kraftstoff-Gemisch des Ottomotors im sogenannten SI-Betrieb (Spark Ignition) konventionell fremdgezündet. Ein HCCI-fähiger Dieselmotor (Homogeneous Charge Compression Ignition) ermöglicht, ähnlich wie der CAI-fähige Ottomotor, eine Verbrennung eines homogenen Luft-Kraftstoff-Gemischs, wobei die Verbrennung nahezu gleichzeitig im gesamten Brennraum beginnt. Ein Verbrennungsmotor mit einem variablen Ventiltrieb ermöglicht zum Zwecke einer Enddrosselung verschiedene Betriebsstrategien bzw. -modi, z. B. ein so genanntes frühes Schließen des Einlass (EIC-Modus: Early Inlet Closing) oder ein so genanntes spätes Schließen des Einlass (LIC-Modus: Late Inlet Closing).

Technisch anspruchsvoll ist ein Wechsel der Betriebsarten insbesondere dann, wenn damit eine digitale Ventilhubumschaltung verknüpft ist. Dies ist z. B. bei einem Wechsel vom SI-Betrieb den CAI-Betrieb des Verbrennungsmotors der Fall, da ein CAI-Brennverfahren zur Entzündung eines homogenen, mageren Luft-Kraftstoff-Gemischs eine hohe Restgasmenge benötigt, die z. B. durch eine Abgasrückhaltung eines vorangegangenen Verbrennungszyklus realisiert wird. Dies erreicht man mittels eines entsprechenden Profils einer Auslassnockenwelle mit angepasstem Ventilhub und angepasster Phasenlage. Hierbei wird dann ein auslassseitiges Umschalten auf einen kleinen Ventilhub vorgenommen, durch welchen Restgas in einem betreffenden Brennraum des Verbrennungsmotors verbleibt. Ferner ist es möglich, das Restgas über eine Abgasrückführung in den betreffenden Brennraum des Verbrennungsmotors zu leiten.

Aus Komfortgründen ist ein ruckfreier und somit drehmomentneutraler Wechsel zwischen den Betriebsarten anzustreben. D. h. das effektive Motordrehmoment vor und nach dem Wechsel der Betriebsarten ist konstant zu halten. Bei einem Übergang von einer SI-Betriebsart in eine CAI-Betriebsart wird dies wie folgt erreicht: Um ein für die CAI-Betriebsart angestrebtes Druckniveau in einem Saugrohr zu erreichen, wird eine Drosselklappe geöffnet (Enddrosselung). Gleichzeitig wird ein Zündwinkel nach spät verstellt, um ein bei einem konstanten Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufgrund einer einströmenden Mehrluft und eines eingebrachten Kraftstoffs generiertes Motordrehmoment abzubauen (EIC-Betrieb). Aufgrund der Spätverstellung der Zündung, kommt es dabei zu einem deutlichen Anstieg einer Abgastemperatur. Bei einer Umschaltung von der konventionellen SI-Betriebsart nur in den EIC-Betrieb, welcher ebenso fremdgezündet erfolgt, ist ein solches Verfahren durchaus praktikabel. Soll aber darüber hinaus der Wechsel der Betriebsarten in die CAI-Betriebsart erfolgen, muss die Abgastemperatur vor dem Wechsel abgesenkt werden, da ansonsten eine nachfolgende CAI-Verbrennung zu früh erfolgt, welche sich aufgrund einer hohen Ladungstempe-

ratur ergibt. Die hohe Ladungstemperatur stellt sich aufgrund einer Vermischung des heißen, zurückgehaltenen Restgases, einer angesaugten Frischluft- und einer eingebrachten Kraftstoffmenge ein.

Eine vorzeitige Entzündung des Luft-Kraftstoff-Gemischs führt zu einem Klopfen des Verbrennungsmotors, was zum Schutz des Verbrennungsmotors unbedingt vermieden werden muss. Ferner ergeben sich durch das Klopfen Geräuschemissionen. Abhilfe schafft man dadurch, indem im EIC-Betrieb weniger Kraftstoff eingespritzt wird und der Zündwinkel zur Kompensation des Drehmoments nach früh verstellt wird. Hierdurch verschiebt sich das Luft-Kraftstoff-Gemisch in Richtung mager. Dies führt aber zu einer Zunahme der bei der Verbrennung entstehenden Stickoxide. Da CAI-Verbrennungsmotoren in der Regel keinen SCR-Katalysator, sondern lediglich einen konventionellen Drei-Wege-Katalysator aufweisen, erfolgt bei einem jeden Wechsel von der SI-Betriebsart in die CAI-Betriebsart eine (Stickoxid-)Emissionsstrafe. Ein Emissionsverhalten des Verbrennungsmotors wird also nachhaltig verschlechtert. Darüber hinaus ergibt sich beim Wechsel aus der CAI-Betriebsart in die SI-Betriebsart ein negatives Emissionsverhalten des Verbrennungsmotors, da für den stöchiometrischen Betrieb (SI-Betriebsart) des Verbrennungsmotors, ein mageres Restgas der CAI-Betriebsart anfällt aus den betreffenden Brennräumen entfernt werden muss.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren für einen Wechsel aus einer fremdgezündeten Betriebsart eines Verbrennungsmotors in eine selbstzündende Betriebsart anzugeben. Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfahren für einen Wechsel aus der selbstzündenden Betriebsart in die fremdgezündete Betriebsart des Verbrennungsmotors anzugeben. Hierbei soll der Wechsel zwischen den beiden Betriebsarten, insbesondere einem SI-Betrieb und einem CAI-Betrieb, in beide Richtungen emissionsoptimiert, insbesondere emissionsneutral erfolgen. D. h. es sollen nach Möglichkeit keine zusätzlichen Schadstoff-

emissionen entstehen. Darüber hinaus soll der erfindungsgemäße Wechsel zwischen den beiden Betriebsarten des Verbrennungsmotors drehmomentneutral erfolgen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren für ein emissionsoptimiertes Umschalten zwischen zwei Betriebsarten eines Verbrennungsmotors gemäß Anspruch 1, und ein Verfahren für ein emissionsoptimiertes Zurückschalten zwischen den zwei Betriebsarten des Verbrennungsmotor gemäß Anspruch 12 gelöst. Ferner wird die Erfindung mittels einer Steuereinrichtung gemäß Anspruch 33 gelöst, mittels welcher ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist.

Erfindungsgemäß wird für den Wechsel von der fremdgezündeten Betriebsart, insbesondere einem SI-Betrieb des Verbrennungsmotors, in die selbstzündende Betriebsart, insbesondere einen CAI-Betrieb des Verbrennungsmotors, vor dem Wechsel bzw. Umschalten zwischen den beiden Betriebsarten eine Abgastemperatur abgesenkt. Dies erfolgt bevorzugt durch ein Abmagern eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Brennraum des Verbrennungsmotors. Zur Vermeidung einer Stickoxid-Spitze im Abgas, wird der Abmagerung wenigstens ein fetter Zyklus zeitlich vorgeschaltet, der zu einer Stickoxid-Reduktion führt. Gemäß der Erfindung wird in allen Zylindern des Verbrennungsmotors in einer Vorbereitungsphase vor dem Wechsel der Betriebsarten, wenigstens ein Zyklus mit einem fettem und zeitlich darauf folgend wenigstens ein Zyklus mit einem mageren Gemisch betrieben. Bevorzugt unmittelbar daran anschließend wechselt der Verbrennungsmotor dann in die selbstzündende Betriebsart.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass der Wechsel von der fremdgezündeten Betriebsart, insbesondere dem SI-Betrieb, in die selbstzündende Betriebsart, insbesondere den CAI-Betrieb, emissionsoptimiert bzw. emissionsneutral erfolgt. D. h. es entstehen kaum bzw. keine zusätzlichen Schadstoffemissionen durch den Wechsel der Betriebsarten. Die bei der Vorbereitung des Wechsels zwangs-

läufig entstehenden Stickoxide, werden durch eine gezielte Bildung von Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxid-Komponenten durch eine fette Verbrennung, im Abgastrakt - also im Katalysator oder sogar schon stromaufwärts des Katalysators - bereits vorher reduziert. Eine Einschränkung in Bezug auf die beim Wechsel der Betriebsarten geforderte Drehmomentneutralität besteht dabei nicht.

Gemäß der Erfindung wird bei der Umschaltung vom fremdgezündeten SI-Betrieb in den selbstzündenden CAI-Betrieb aus verbrennungstechnischen Gründen (Schadstoffemissionen, Klopfen) die Abgastemperatur des Verbrennungsmotors wenigstens im letzten Zyklus zeitlich vor Umschaltung abgesenkt. Hierdurch erhöht sich der Stickoxid-Ausstoß des Verbrennungsmotors. Erfindungsgemäß wird ein solcher Magerzyklus mit einem hohen, insbesondere einem möglichst hohen Luftüberschuss gefahren, um eine große bzw. möglichst große Absenkung der Abgastemperatur zu erreichen. Gemäß der Erfindung wird mindestens ein diesem mindestens einem Magerzyklus vorhergehender Verbrennungszyklus bewusst fett gefahren, um die Schadstoffemissionen des Magerzyklus mit den Schadstoffemissionen des oder der Fettzyklen zu kompensieren.

Bei mehr als einem vorangegangenem Fettzyklus erfolgt erfindungsgemäß eine mit der Zeit zunehmende Anfettung, sodass der fetteste Zyklus zeitlich möglichst nahe an dem wenigstens einen Magerzyklus liegt und so die Voraussetzungen für eine gute Durchmischung der Reaktionspartner (Kraftstoffemissionen) im Abgastrakt und dem darin enthaltenen Katalysator geschaffen ist. In der Vorbereitungsphase folgen einem bis einer Mehrzahl von fetten Zyklen wenigstens ein magerer Zyklus, wobei es bevorzugt ist, dass ein durchschnittlicher Lambdawert aller Zyklen der Vorbereitungsphase ca. 0,99 bis ca. 1,00 beträgt. Eine Anzahl der betreffenden fetten und mageren Zyklen hängt dabei stark von einer Speicherfähigkeit einer Abgasreinigungsanlage ab und kann, insbesondere was die fetten Zyklen betrifft, bis über zehn bis 20 betragen.

Bevorzugt sind jedoch maximal fünf fette und maximal drei magere Zyklen.

Für einen Wechsel von der selbstzündenden Betriebsart, insbesondere dem CAI-Betrieb, des Verbrennungsmotors, in die fremdgezündete Betriebsart, insbesondere den SI-Betrieb, erfolgt in wenigstens einem Zyklus einer Wechselphase der Betriebsarten des Verbrennungsmotors, eine Nacheinspritzung in einen Brennraum des Verbrennungsmotors. Durch eine solche erfindungsgemäße Anfettung, insbesondere eines mageren bzw. eines geringfügig fetten Zyklus der Wechselphase, werden wiederum Stickoxid-Peaks vermieden, da diese durch nachgeschaltete fette Zyklen und einer dadurch erfolgenden Stickoxid-Reduktion verhindert werden. Bevorzugt findet die Nacheinspritzung zeitlich nach einer Selbstzündung, insbesondere zeitlich direkt im Anschluss an die letzte Selbstzündung, statt. Entsprechend findet dann die Nacheinspritzung bevorzugt zeitlich vor einer ersten Fremdzündung statt.

Bei der erfindungsgemäßen Rückschaltung in den fremdgezündeten Betrieb ergeben sich ebenfalls Vorteile. Durch eine gezielte Einbringung von zusätzlichem Kraftstoff in Form einer fetten bzw. fetteren Gemischbildung, wird der Katalysator nach dem selbstzündenden Betrieb von angereichertem Sauerstoff freigeräumt. Gleichzeitig werden Stickoxide, die bei einer letzten selbstzündenden Verbrennung entstanden sind neutralisiert.

Die erfindungsgemäße Nacheinspritzung oder eine Anfettung in der Wechselphase zwischen den Betriebsarten kann in einem oder mehreren Zyklen der Wechselphase vorgenommen werden. Dies ist z. B. in einem letzten Zyklus der selbstzündenden Betriebsart, einem ersten oder einer Mehrzahl von ersten Zyklen der fremdgezündeten Betriebsart durchführbar. Es ist erfindungsgemäß auch möglich, statt der Nacheinspritzung in den Brennraum den oder die ersten Zyklen in der fremdgezündeten Betriebsart entsprechend fett zu fahren, sodass der oder die vorangegangenen Magerzyklen der selbstzündenden Be-

triebsart schadstofftechnisch kompensiert werden können. Eine Anzahl der betreffenden fetten und mageren Zyklen hängt dabei wiederum stark von der Speicherfähigkeit der Abgasreinigungsanlage ab.

Gemäß der Erfindung setzt sich die Wechselphase zwischen den Betriebsarten aus wenigstens einem mageren Zyklus der selbstzündenden Betriebsart und einem oder einer Mehrzahl von fetten Zyklen der fremdgezündeten Betriebsart zusammen. Gemäß der Erfindung wird der magere bzw. die mageren und der fette bzw. die fetten Zyklen der Wechselphase derart aufeinander abgestimmt, dass sich ein durchschnittlicher Lambdawert der Wechselphase bevorzugt zu ca. 0,95 bis 0,99 ergibt.

Bei der erfindungsgemäßen Umschaltung vom selbstzündenden CAI-Betrieb in den fremdgezündeten SI-Betrieb erfolgt bevorzugt im letzten Zyklus des CAI-Betriebs und/oder in wenigstens einem darauf folgenden Zyklus (SI-/EIC-Betrieb) eine Nacheinspritzung, wodurch Restsauerstoff durch eine Oxidation der Kraftstoffkomponenten gebunden wird. Hierbei ist es bevorzugt, dass die Oxidation der Kraftstoffkomponenten bereits im betreffenden Brennraum des Verbrennungsmotors und/oder im Abgastrakt erfolgt.

Sollten dem letzten mageren Zyklus eine Mehrzahl von fetten Zyklen folgen, so ist es bevorzugt, dass der erste fette Zyklus der fetteste Zyklus ist und dann eine abnehmende Anfettung des oder der folgenden Zyklen erfolgt, sodass der fetteste Zyklus zeitlich möglichst nahe am mageren Zyklus liegt, und so die Voraussetzungen für eine gute Durchmischung der Reaktionspartner im Abgastrakt und dem darin enthaltenen Katalysator geschaffen ist.

Erfindungsgemäß kann ein oder können eine Mehrzahl von Zyklen, der bzw. die dem letzten Zyklus der Nacheinspritzung zeitlich folgen, gezielt fett gefahren werden, um den Katalysator von angereicherten Sauerstoff durch eine Reaktion mit Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid frei zu räumen.

Hierdurch ist erfindungsgemäß eine Reduktionsfähigkeit von Stickoxiden wiedergegeben.

Erfindungsgemäß ist es möglich, in nur einen, eine Mehrzahl oder in alle Brennräume des Verbrennungsmotors ein Nacheinspritzen von Kraftstoff gemäß obigem Vorgehen vorzunehmen. Hierbei ist es bevorzugt, dass die Nacheinspritzung derart abgestimmt wird, dass kein aktives oder kein zusätzliches Motordrehmoment erzeugt wird. Ferner kann bei der Nacheinspritzung ein betreffendes Auslassventil des Brennraums noch geschlossen sein, oder das Auslassventil ist bereits offen bzw. wird geöffnet. Sollte durch eine vergleichsweise frühe Nacheinspritzung ein zusätzliches Motordrehmoment erzeugt werden, so ist es bevorzugt dieses Motordrehmoment durch ein entsprechendes Anpassen einer Haupteinspritzung zu kompensieren. D. h. bei der betreffenden Haupteinspritzung wird bevorzugt weniger Kraftstoff als sonst üblich eingespritzt.

Die folgenden Ausführungen betreffen die beiden erfindungsgemäßen Wechsel von der selbstzündenden in die fremdgezündete Betriebsart des Verbrennungsmotors und umgekehrt. D. h. die folgenden Ausführungen betreffen sowohl die Vorbereitungsphase zum Wechsel in die selbstzündende Betriebsart und die Wechselphase von der selbstzündenden in die fremdgezündete Betriebsart.

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung treffen die durch den oder die mageren und den oder die fetten Zyklen entstandenen Schadstoffe, insbesondere Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid, bevorzugt schon im Abgastrakt aufeinander und vermischen sich dort zeitlich möglichst bald. Ferner werden die entstandenen Schadstoffe im Katalysator gespeichert und dort durch eine katalytische Oxidation und/oder eine katalytische Reduktion neutralisiert. Hierbei sind Durchbrüche der Schadstoffe durch den Katalysator hindurch zu vermeiden, was insbesondere für einen Durchbruch von Kohlenwasserstoffen bei der Anfettung eines Zyklus gilt.

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung sollen die geometrischen Gegebenheiten der gesamten Abgasanlage, insbesondere des Abgastrakts stromaufwärts des Katalysators und des Katalysators selbst derart genutzt werden, dass eine Möglichkeit eines unmittelbaren Zusammentreffens, einer Durchmischung und einer Reaktion von Fett- und Magerpaketen der Zyklen im Abgastrakt optimiert ist. Dies hängt von einer Vielzahl von Parametern, wie z. B. einer Motorart (Reihen-, W-, V-Motor), einer Abgasanlage, die z. B. zweiflutig sein kann, einem Vor-/Nachkatalysator, einer vorhandenen Abgasklappe, etc. ab und muss entsprechend individuell für jeden Verbrennungsmotor ausgelegt werden.

Insbesondere bei mehrzylindrigen Motoren ist es bevorzugt, dass die Magerpakete einzelner Zylinder mit Fettpaketen anderer Zylinder direkt im Abgastrakt stromabwärts der Brennräume zusammentreffen, wodurch eine gute Durchmischung der Reaktionspartner auch schon stromaufwärts des Katalysators erreicht wird. Dies betrifft insbesondere einen Krümmer des Abgastrakts. Bei einer üblichen Zündreihenfolge eines Reihenvierzylinders ist es bevorzugt, dass ein Initiieren der Vorbereitungsphase bzw. der Wechsel der Betriebsarten bei Zylinder vier beginnt.

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung arbeitet der Verbrennungsmotor zeitlich vor der Vorbereitungsphase und/oder zeitlich nach der Wechselphase mit einem im Wesentlichen stöchiometrischen Kraftstoffverhältnis, wobei es bevorzugt ist, dass der Verbrennungsmotor direkt vor der Vorbereitungsphase und direkt nach der Wechselphase in einem EIC-Betrieb arbeitet.

Zusätzliche Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen abhängigen Ansprüchen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Wechsel eines vierzylindrigen Verbrennungsmotors von einem fremdgezündeten SI-Betrieb in einen selbstzündenden CAI-Betrieb; und

Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Wechsel vom selbstzündenden CAI-Betrieb in den fremdgezündeten SI-Betrieb des vierzylindrigen Verbrennungsmotors.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Wechsels von Betriebsarten eines Verbrennungsmotors, insbesondere von einem fremdgezündeten SI- oder EIC-Betrieb in einen selbstzündenden CAI-Betrieb, und zurück näher erläutert. Die Erfindung soll dabei nicht auf diese Betriebsarten beschränkt sein, sondern sämtliche fremdgezündeten und selbstzündende Betriebsarten betreffen.

Ferner werden im Folgenden unter einem Zyklus des Verbrennungsmotors vier Takte eines Viertakt-Verbrennungsmotors verstanden. Hierbei repräsentiert ein jeweiliger Kasten in der Zeichnung einen Zyklus, der zeitlich links beginnend, an einem unteren Totpunkt eines Kolben eines Zylinders des Verbrennungsmotors anfängt, wobei in jedem Kasten stark vereinfacht ein Innendruck des jeweiligen Zylinders aufgetragen ist. Eine einzige (SI-/EIC-Betrieb) bzw. die höchste Druckspitze (CAI-Betrieb) in einem jeweiligen Kasten verdeutlicht eine eigen- oder fremdgezündete Verbrennung. Eine zweite Druckspitze (CAI-Betrieb), falls vorhanden, verdeutlicht eine Zwischenkompression.

Gemäß der Zeichnung veranschaulicht jeder Kasten links den unteren Totpunkt des Kolbens und verdeutlicht zunächst ein Ausschieben von Verbrennungsgasen bis zu einem oberen Totpunkt eines Ladungswechsels (erster Takt); ein Ansaugen bis zu einem unteren Totpunkt (zweiter Takt); ein Verdichten bis zu einem oberen Totpunkt, bei welchem eine Fremd- oder Ei-

genzündung stattfindet (dritter Takt); und den danach folgenden Arbeitstakt bis zum unteren Totpunkt (vierter Takt), rechts am jeweiligen Kasten und auch gleichzeitig links am nach rechts folgenden Kasten.

Der steile Anstieg des Innendrucks des jeweiligen Zylinders beim Verdichten und Zünden (Unstetigkeitsstelle an der linken Flanke des Innendrucks) sowie der Abfall des Zylinderinnendrucks im Arbeitstakt ist im jeweiligen Kasten gut zu erkennen. Ferner ist eine Zwischenkompression bei Zyklen des CAI-Betriebs gut zu erkennen.

Erfindungsgemäß kann ein solcher Zyklus aber auch anders definiert sein. So ist es gemäß der Erfindung auch möglich, den ersten Takt eines Zyklus mit einem Ansaugtakt zu identifizieren, dem ein Verdichten (zweiter Takt), ein Arbeiten (dritter Takt) und ein Ausstoßen (vierter Takt) folgen. Siehe hierzu jeweils einen gestrichelten Kasten beim zweiten Zylinder (Zyl. 2; n-2, n-1; m-1, m) in der Zeichnung.

Darüber hinaus soll unter einem fetten bzw. einem mageren Zyklus, ein Zyklus eines betreffenden Zylinders des Verbrennungsmotors verstanden werden, wobei der betreffende Zylinder mit einem fetten oder auch einem reichen Luft-Kraftstoff-Gemisch ($\lambda < 1$) unter Luftmangel bzw. einem mageren oder auch armen Luft-Kraftstoff-Gemisch ($\lambda > 1$) unter Luftüberschuss betrieben wird.

In Fig. 1 ist ein Wechsel bzw. Übergang vom fremdgezündeten SI- oder EIC-Betrieb in den CAI-Betrieb am Beispiel eines Vierzylinder-Verbrennungsmotors aufgezeigt. Hierbei wird ausgehend von im Wesentlichen stöchiometrischen Verhältnissen ($\lambda \approx 1$) des im betreffenden Zylinder (Zyl. 1 bis 4) enthaltenen Luft-Kraftstoff-Gemischs - im Folgenden als Gemisch bezeichnet - zeitlich nach einem Zyklus n-4 bis zu einem Zyklus n-2 das Gemisch zunehmend angefettet. Der Zyklus n-1 wird anschließend mager gefahren und im Zyklus n erfolgt schließlich eine erste CAI-Verbrennung. In den zeitlich vo-

rangegangenen Zyklen, insbesondere den Zyklen n-4 bis n-1, wurde der Verbrennungsmotor entsprechend im SI-/EIC-Betrieb betrieben.

Fig. 2 zeigt den Wechsel bzw. den Übergang zurück vom CAI-Betrieb in den SI- oder EIC-Betrieb. Der Zyklus m-1 zeigt dabei einen zeitlich letzten konventionellen CAI-Zyklus. Bei Zyklus m, der ebenfalls noch ein CAI-Zyklus ist, erfolgt eine Nacheinspritzung nach einer letzten CAI-Verbrennung (zeitlich letzte eigengezündete Verbrennung). Gleichzeitig erfolgt dabei eine Umschaltung in den SI-/EIC-Betrieb, und m+1 ist ein erster konventioneller fremdgezündeter Zyklus. Ein ungefährer Zeitpunkt für die Nacheinspritzung ist bei Zylinder eins mit einem Pfeil verdeutlicht. Bis zum Zyklus m wird der Verbrennungsmotor mit einem mageren Gemisch betrieben. In den Zyklen m+1 und m+2 wird der Verbrennungsmotor mit einem fetten Gemisch gefahren, wobei die Verbrennung ab Zyklus m+3 schließlich wieder unter stöchiometrischen Verhältnissen ($\lambda \approx 1$) erfolgt.

Vor einem jeweiligen Wechsel der Betriebsarten (Fig. 1 bzw. 2) ist aus Komfort- (Drehmomentneutralität) und aus verbrennungstechnischen Gründen (Restgastemperatur für den CAI-Betrieb (Fig. 1)) eine Reihe von Betriebsparametern des Verbrennungsmotors einzuhalten. Dies sind insbesondere ein Drosselklappenwinkel, eine Einspritzzeit und ein Einspritztiming, ein Zündwinkel (SI-/EIC-Betrieb) sowie eine Ein- und Auslassnockenwellenposition.

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf einen einzelnen Zylinder eines Verbrennungsmotors, wobei bei Mehrzylindermotoren entsprechend zylinderselektiv, vom Prinzip her aber identisch zu verfahren ist; wie es in den Fig. 1 und 2 anhand der dort schematisch dargestellten Verläufe der Zylinderinnendrücke des Vierzylinder-Verbrennungsmotors dargestellt ist.

Im Folgenden wird der Wechsel vom SI-/EIC-Betrieb in den CAI-Betrieb gemäß Fig. 1 näher erläutert.

Mit n ist der Zyklus der ersten CAI-Verbrennung bezeichnet, und n-1 ist somit der letzte Zyklus im SI-/EIC-Betrieb, in welchem die beschriebenen, umschaltvorbereitenden Betriebsparameter aktiv sind. Da eine zeitliche Vorbereitung eines Wechsels der Betriebsarten aufgrund einer Trägheit von Komponenten, wie einer Drosselklappe oder einem Nockenwellen-Phasenversteller, meist mehr als einen Zyklus in Anspruch nehmen, muss der Wechsel bzw. Umschaltvorgang entsprechend früh eingeleitet werden.

Eine zeitliche Vorbereitung des Wechsels ist in Fig. 1 mit schrägen Linien über alle Druckverläufe hinweg verdeutlicht und kennzeichnet eine Vorbereitungsphase während des SI-/EIC-Betriebs des Verbrennungsmotors, wobei die Vorbereitungsphase vor dem eigentlichen Wechsel in den CAI-Betrieb abgeschlossen ist.

Wenigstens der letzte Zyklus n-1 vor dem Wechsel wird für eine Absenkung einer Abgastemperatur bewusst mager gefahren und ist daher für eine vermehrte Stickoxidbildung verantwortlich. Hierbei sei angemerkt, dass es vorteilhaft ist diesen letzten Zyklus n-1 oder diese letzten Zyklen mit einem möglichst großen Luftüberschuss zu fahren ($\lambda > 1$), um eine möglichst niedrige, der vergleichsweise kalten CAI-Verbrennung angepasste Restgastemperatur zu erhalten.

Diese zusätzliche Stickoxidbildung des Verbrennungsmotors wird erfindungsgemäß kompensiert, indem während der Vorbereitungsphase für den Wechsel der Betriebsarten, vor dem mageren Zyklus n-1 ein einzelner fetter Zyklus oder mehrere fette Zyklen n-2, n-3 vorgeschaltet werden. Die bei der Verbrennung des fetten Gemischs anfallenden Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxid-Moleküle gelangen dann über den Abgastrakt zum Katalysator (Abgasreinigungseinrichtung) und werden dort gespeichert.

Treffen in den folgenden Zyklen die Stickoxidmoleküle aus der mageren Verbrennung ein, findet durch eine katalysatorische Wirkung innerhalb des Katalysators eine Oxidation der Kohlenwasserstoffe und des Kohlenmonoxids sowie eine Reduktion der Stickoxide statt.

Eine Anzahl der fetten und mageren Verbrennungszyklen sowie deren Luft-Kraftstoff-Verhältnis λ ist abhängig von einem Motorbetriebspunkt sowie einer Beschaffenheit und Größe des Abgastrakts und des Katalysators. Einen Durchbruch der Schadstoffe, insbesondere einen Kohlenwasserstoff-Durchbruch gilt es zu vermeiden. Eine Kraftstoffzumessung ist dabei erfindungsgemäß derart zu gestalten, dass sich für die gesamte Vorbereitungsphase bzw. den gesamten Umschaltvorgang ein Lambdawert λ von bevorzugt ca. 0,99 bis ca. 1,00 ergibt.

Für den Fall, dass mehrere fette Zyklen notwendig sind, um die zur Stickoxidreduktion notwendigen Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxid-Moleküle zu generieren, ist es vorteilhaft den Zyklus n-2 so fett wie möglich und die Zyklen davor (n-3, n-4,...) schrittweise (entgegen eines Zeitpfeils) in Richtung eines Lambdawerts λ von ca. 1 abzumagern. Hierdurch werden das fetteste Fett- und das Magerpaket zeitlich unmittelbar hintereinander abgesetzt, wodurch die Voraussetzungen für eine gute Durchmischung und Reaktionsfähigkeit der Schadstoffkomponenten im Abgastrakt verbessert werden.

Generell ist es bevorzugt, dass die Fett- und Magerpakete des Verbrennungsmotors bereits stromaufwärts des Katalysators aufeinandertreffen und schon dort vermischt werden und auch reagieren können. Bei Mehrzylinder-Verbrennungsmotoren treffen idealerweise magere Abgaspakete auf zeitlich vorher abgesetzte Fettpakete der Nachbarzylinder. So findet eine chemische Reaktion bevorzugt unmittelbar im Abgastrakt stromaufwärts des Katalysators statt. Es ist generell weiterhin vorteilhaft, geometrische Gegebenheiten der gesamten Abgasanlage zu nutzen.

Dies soll am Beispiel eines Reihenvierzylinder-Verbrennungsmotors kurz erläutert werden. Es wird eine übliche Zündreihenfolge der Zylinder eins, drei, vier, zwei, wie sie in der Zeichnung dargestellt ist, vorausgesetzt. Zylinder eins ist dabei der bei einem Motorlängseinbau vordere Zylinder.

Es ist gemäß der Erfindung günstig, den Wechsel der Betriebsarten auf Zylinder vier zu beginnen und dementsprechend das erste Magerpaket abzusetzen, da dann die Möglichkeit für die Durchmischung dieses Magerpakets mit den abgesetzten Fettpaketen aller übrigen drei Zylinder besteht. Des Weiteren kann beim Folgezylinder zwei eine Vermischung mit dem Fettpaket von Zylinder eins erfolgen. Da derartige Effekte stark systemindividuell ausfallen, muss ein optimales Vorgehen in einem jeweiligen Einzelfall ermittelt werden.

In einem Drei-Wege-Katalysator laufen die folgenden chemischen Reaktionen der in der Vorbereitungsphase entstandenen Schadstoffe (Kohlenwasserstoffe CH, Kohlenmonoxid CO und Stickoxide NO_x (NO, NO_2)) ab:

Oxidation von CO und HC zu CO_2 und H_2O:

$$C_yH_n + \left(1 + \frac{n}{4}\right)O_2 \Rightarrow yCO_2 + \frac{n}{2}H_2O$$

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow CO_2$$

$$CO + H_2O \Rightarrow CO_2 + H_2$$

Reduktion von NO, NO_2 zu N_2:

$$NO\,(\text{oder } NO_2) + CO \Rightarrow \frac{1}{2}N_2 + CO_2$$

$$NO\,(\text{oder } NO_2) + H_2 \Rightarrow \frac{1}{2}N_2 + H_2O$$

$$\left(2+\frac{n}{2}\right)NO\,(\text{oder } NO_2) + C_yH_n \Rightarrow \left(1+\frac{n}{4}\right)N_2 + yCO_2 + \frac{n}{2}H_2O$$

Im Folgenden wird der Wechsel vom CAI-Betrieb in den SI-/EIC-Betrieb gemäß Fig. 2 näher erläutert.

Um von dem in der Fig. 2 dargestellten CAI-Betrieb zurück in den SI-/EIC-Betrieb zu gelangen, sind prinzipiell keine besondere thermodynamischen Maßnahmen erforderlich. Nichtsdestotrotz kann auch bei der Rückschaltung positiv auf ein Emissionsverhalten des Verbrennungsmotors Einfluss genommen werden.

Nach der letzten CAI-Verbrennung in Zyklus m wird auslassseitig bevorzugt auf einen großen Ventilhub umgeschaltet, um ein mageres Restgas aus dem betreffenden Zylinder zu spülen. Erfindungsgemäß erfolgt im Zyklus m, also dem zeitlich letzten CAI-Zyklus, eine Nacheinspritzung (Pfeil bei Zylinder eins) in den betreffenden Brennraum des Verbrennungsmotors, wodurch Restsauerstoff gebunden werden kann.

Idealerweise findet eine Oxidation noch im Brennraum, also bei einem noch geschlossenem Auslassventil statt. In Ausführungsformen der Erfindung ist es jedoch möglich, dass das Auslassventil bereits geöffnet hat. Hierbei ist aus Komfortgründen darauf zu achten, dass durch die Nacheinspritzung kein aktiver Momentenbeitrag geleistet wird. Die Nacheinspritzung erfolgt daher unter Umständen derart spät, dass das betreffende Auslassventil bereits geöffnet ist. In einem solchen Fall findet die Reaktion der Schadstoffe nur noch teilweise im Brennraum aber hauptsächlich im stromabwärts liegenden Abgastrakt statt.

Gemäß der Erfindung ist es in Ausführungsformen jedoch möglich, die Nacheinspritzung derart früh, also kurz nach der Eigenzündung vorzunehmen, dass durch die Nacheinspritzung noch ein Drehmoment des Verbrennungsmotors generiert wird.

Ein solches zusätzliches Drehmoment muss, um die geforderte Drehmomentneutralität einhalten zu können, kompensiert werden. Dies findet erfindungsgemäß derart statt, dass durch eine Haupteinspritzung, die in mehrere Einzeleinspritzungen aufgeteilt sein kann, entsprechend weniger Drehmoment erzeugt wird. D. h. das durch die Nacheinspritzung generierte Drehmoment wird dadurch kompensiert, dass bei der Haupteinspritzung weniger Kraftstoff eingespritzt wird.

Die zeitlich direkt nachfolgenden Zyklen werden unter einem Mangel an Sauerstoff ($\lambda < 1$) gefahren. Die überschüssigen Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxid-Moleküle oxidieren mit den während des mageren CAI-Betriebs im Katalysator gespeicherten Sauerstoffmolekülen, und der Katalysator wird frei geräumt. Dies ist umso notwendiger, da Kohlenmonoxid-Moleküle bevorzugt mit Sauerstoff reagieren und die Reduktion von Stickoxiden gehemmt wird. Auch dieses Verfahren ist an eine Beschaffenheit und Größe des Abgastrakts sowie der Abgasreinigungseinrichtung (Sauerstoffspeicherfähigkeit) anzupassen.

Fig. 2 zeigt eine Wechselphase vom CAI-Betrieb in den SI-/EIC-Betrieb, die sich im vorliegenden Ausführungsbeispiel über drei Zyklen m bis m+2 hinzieht und wiederum mit schrägen Linien über alle Druckverläufe hinweg verdeutlicht ist. Eine Anzahl dieser Zyklen ist selbstverständlich variierbar. Der letzte Zyklus des CAI-Betriebs wird trotz der Nacheinspritzung insgesamt noch mager, mit einem Lambdawert λ von ca. 1,1 bis ca. 1,2, gefahren. Die Nacheinspritzung erfolgt zeitlich nach der letzten Eigenzündung und zeitlich vor der Zwischenkompression bzw. zeitlich vor einem Schließen des Auslassventils.

An den Zyklus m schließt sich der erste fremdgezündete SI-/EIC-Zyklus m+1 an. Dieser Zyklus m+1 wird fett, bevorzugt mit einem möglichst niedrigen Lambdawert λ von ca. (0,7) 0,8 bis ca. 0,9 gefahren. Der oder die sich daran anschließenden Zyklen m+2, (m+3) des SI-/EIC-Betriebs des Verbrennungsmo-

tors werden dann weniger fett gefahren, wobei der zeitlich dahinter liegende Zyklus m+3 weniger fett als der zeitlich davor liegende Zyklus m+2 gefahren wird. Erfindungsgemäß liegt hierbei der fetteste Fettzyklus direkt benachbart zum letzten Magerzyklus m des CAI-Betriebs. In den nachfolgenden Zyklen m+3, (m+4), … wird der Verbrennungsmotor wieder mit einem Lambdawert λ von ca. 1 betrieben.

In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung erfolgt die Nacheinspritzung in Abhängigkeit einer Last des Verbrennungsmotors. Prinzipiell gilt für eine hohe Last eine volumenmäßig vergleichsweise große Nacheinspritzung, und für eine niedrige Last eine volumenmäßig vergleichsweise kleine Nacheinspritzung. Hierbei können die Nacheinspritzungen in ihrem Volumen jeweils an die Last des Verbrennungsmotors mehr oder weniger kontinuierlich angepasst werden. Ferner ist es möglich, ab einer gewissen Grenze bzw. einem gewissen Grenzbereich eine Nacheinspritzung durchzuführen (hohe Last) oder nicht (niedrige Last). Darüber hinaus ist es möglich, eine Mehrzahl von volumenmäßig unterschiedlich großen Nacheinspritzungen, je nach Lastfall anzuwenden.

Patentansprüche

1. Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel aus einer fremdgezündeten Betriebsart, insbesondere einem SI-Betrieb, eines Verbrennungsmotors, in eine selbstzündende Betriebsart, insbesondere einen CAI-Betrieb, des Verbrennungsmotors, wobei

der Verbrennungsmotor zeitlich vor dem Wechsel der Betriebsarten in einer Vorbereitungsphase, in wenigstens einem Zyklus eines Zylinders mit einem fetten Gemisch ($\lambda < 1$) und zeitlich darauf folgend in demselben Zylinder in wenigstens einem Zyklus mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) in der fremdgezündeten Betriebsart betrieben wird, und der Verbrennungsmotor zeitlich danach in der selbstzündenden Betriebsart betrieben wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei eine Anzahl der Zyklen der Vorbereitungsphase, in welchen der Verbrennungsmotor mit einem fetten Gemisch ($\lambda < 1$) betrieben wird, von einer Beschaffenheit, insbesondere einer Speicherfähigkeit, eines Katalysators abhängt und bevorzugt zwei oder drei Zyklen beträgt.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei eine Anzahl der Zyklen der Vorbereitungsphase, in welchen der Verbrennungsmotor mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) betrieben wird, von der Beschaffenheit, insbesondere der Speicherfähigkeit, des Katalysators abhängt und bevorzugt einen oder zwei Zyklen beträgt.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in den jeweiligen Zyklen der Vorbereitungsphase ein betreffender Lambdawert (λ) des Verbrennungsmotors derart gewählt wird, dass

sich für die gesamte Vorbereitungsphase ein durchschnittlicher Lambdawert ($\lambda_{\varnothing}$) von ca. 0,95 bis ca. 1,04, insbesondere von 0,97 bis 1,02, insbesondere bevorzugt von

0,98 bis 1,01 und insbesondere besonders bevorzugt von 0,99 bis 1,00 ergibt.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei beim Ermitteln des durchschnittlichen Lambdawerts ($\lambda_{\varnothing}$) eine in den Verbrennungsmotor eingebrachte Frischluftmenge Berücksichtigung findet.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei in wenigstens einem Anteil der Zyklen der Vorbereitungsphase, in welchen der Verbrennungsmotor mit einem fetten Gemisch ($\lambda < 1$) betrieben wird,

ein Lambdawert (λ) des betreffenden Zyklus ca. 0,7 bis ca. 0,95, insbesondere ca. 0,8 bis ca. 0,9 und insbesondere bevorzugt ca. 0,9 bis ca. 0,95 beträgt.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei derjenige fette Zyklus ($\lambda < 1$) der Vorbereitungsphase, welcher einem mageren Zyklus ($\lambda > 1$) unmittelbar vorausgeht, mit einem Gemisch gefahren wird, das

fetter ist, als ein Gemisch in einem daran zeitlich vorangegangenen fetten Zyklus ($\lambda < 1$) bzw. das so fett wie möglich ist.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei in einem Zyklus der Vorbereitungsphase, in welchem der Verbrennungsmotor mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) betrieben wird,

ein Lambdawert (λ) des betreffenden Zyklus größer als ca. 1,3 ist, und bevorzugt ca. 1,4 bis ca. 2, insbesondere ca. 1,6 bis ca. 1,8 beträgt.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der zeitlich letzte Zyklus der Vorbereitungsphase mit einem derart mageren Gemisch ($\lambda > 1$) gefahren wird, dass für eine folgende Verbrennung in der selbstzündenden Betriebsart eine möglichst optimale Restgastemperatur erreicht wird.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei bei einem Ansteuern der möglichst optimalen Restgastemperatur, eine Laufruhe des Verbrennungsmotors berücksichtigt wird und/oder Zündaussetzer vermieden werden.

11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei ein Lambdawert (λ) eines Zyklus, der zeitlich der Vorbereitungsphase vorausgeht, ca. 1,0 beträgt.

12. Verfahren für einen emissionsoptimierten Wechsel aus einer selbstzündenden Betriebsart, insbesondere einem CAI-Betrieb, eines Verbrennungsmotors, in eine fremdgezündete Betriebsart, insbesondere einen SI-Betrieb, des Verbrennungsmotors, wobei

in einer Wechselphase der Betriebsarten, während eines letzten Zyklus der selbstzündenden Betriebsart und/oder während eines ersten Zyklus der fremdgezündeten Betriebsart, in wenigstens einen Brennraum des Verbrennungsmotors Kraftstoff nacheingespritzt wird.

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, wobei ein Nacheinspritzen von Kraftstoff zeitlich nach einer letzten Selbstzündung erfolgt.

14. Verfahren gemäß Anspruch 12 oder 13, wobei ein Abstimmen des Nacheinspritzens von Kraftstoff in den Brennraum derart erfolgt, dass:

- Ein Restsauerstoff durch eine Oxidation von Kraftstoffstoffkomponenten teilweise bereits im Brennraum und/oder wenigstens teilweise in einem Abgastrakt des Verbrennungsmotors gebunden wird, und/oder
- durch das Nacheinspritzen kein aktiver Beitrag zu einem Drehmoment des Verbrennungsmotors geleistet wird, und/oder
- das Nacheinspritzen drehmomentneutral erfolgt, und/oder
- bei einem Beginn des Nacheinspritzens ein Auslassventil des Brennraums noch geschlossen oder bereits offen ist.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei ein Beitrag durch das Nacheinspritzen zu einem Drehmoment des Verbrennungsmotors, mit einer veränderten Haupteinspritzung kompensiert wird.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei eine Anzahl der Zyklen der Wechselphase, in welchen der Verbrennungsmotor mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) betrieben wird, von einer Beschaffenheit, insbesondere einer Speicherfähigkeit, eines Katalysators abhängt und bevorzugt einen oder zwei Zyklen beträgt.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 16, wobei eine Anzahl der Zyklen der Wechselphase, in welchen der Verbrennungsmotor mit einem fetten Gemisch ($\lambda < 1$) betrieben wird, von der Beschaffenheit, insbesondere der Speicherfähigkeit, des Katalysators abhängt und bevorzugt zwei oder drei Zyklen beträgt.

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 17, wobei in den jeweiligen Zyklen der Wechselphase ein betreffender Lambdawert (λ) der Verbrennungsmotors derart gewählt wird, dass

sich für die gesamte Wechselphase ein durchschnittlicher Lambdawert ($\lambda_{\varnothing}$) von ca. 0,93 bis ca. 1,01, insbesondere von 0,94 bis 1,00, insbesondere bevorzugt von 0,95 bis 0,99 und insbesondere besonders bevorzugt von 0,96 bis 0,98 ergibt.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei beim Ermitteln des durchschnittlichen Lambdawerts ($\lambda_{\varnothing}$) eine in den Verbrennungsmotor eingebrachte Frischluftmenge Berücksichtigung findet.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 19, wobei ein Lambdawert (λ) des letzten mageren Zyklus ($\lambda > 1$) der selbstzündenden Betriebsart ca. 1,1 bis ca. 1,2 beträgt.

21. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 20, wobei ein Lambdawert (λ) eines ersten fetten Zyklus der Wechselphase möglichst niedrig ist, und

bevorzugt ca. 0,7 bis ca. 0,9, insbesondere ca. 0,8 bis ca. 0,9 beträgt.

22. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 21, wobei wenigstens ein Zyklus der Wechselphase, der zeitlich auf den ersten fetten Zyklus folgt, mit einem fetten Gemisch betrieben wird, und

ein Lambdawert (λ) bevorzugt höher als der des vorangegangenen fetten Zyklus ist, und bevorzugt ca. 0,8 bis ca. 0,95, insbesondere ca. 0,85 bis ca. 0,9 beträgt.

23. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 22, wobei ein Lambdawert (λ) eines Zyklus, der sich zeitlich an die Wechselphase anschließt, ca. 1,0 beträgt.

24. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23, wobei sich der durchschnittliche Lambdawert ($\lambda_{\varnothing}$) der gesamten Vorbereitungs- bzw. Wechselphase auf einen bzw. auf jeweils einen oder eine Mehrzahl von Zylindern des Verbrennungsmotors bezieht, oder

sich der durchschnittliche Lambdawert ($\lambda_{\varnothing}$) der gesamten Vorbereitungs- bzw. Wechselphase auf alle Zylinder der Verbrennungsmotor bezieht.

25. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 24, wobei die durch wenigstens einen fetten ($\lambda < 1$) und wenigstens einen mageren Zyklus ($\lambda > 1$) in der Vorbereitungs- bzw. Wechselphase entstehenden Verbrennungsprodukte, in einem Abgastrakt des Verbrennungsmotors aufeinandertreffen und dort wenigstens teilweise vermischt werden.

26. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 25, wobei ein Abstimmen des wenigstens einen fetten ($\lambda < 1$) und des wenigstens einen mageren Zyklus ($\lambda > 1$) der Vorbereitung- bzw. Wechselphase, an eine Beschaffenheit und/oder Größe einer

Abgasreinigungseinrichtung, und/oder des Abgastrakts angepasst wird.

27. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26, wobei der Abgastrakt des Verbrennungsmotors, insbesondere in einem Abschnitt stromaufwärts der Abgasreinigungseinrichtung, derart ausgestaltet ist, dass

dort ein Durchmischen von Verbrennungsprodukten unterschiedlicher Zylinder und/oder aufeinander folgender Zyklen, bevorzugt auch unterschiedlicher Zylinder, möglich ist.

28. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 27, wobei ein Abstimmen eines fetten ($\lambda < 1$) und eines mageren Zyklus ($\lambda > 1$) der Vorbereitungs- bzw. Wechselphase von einem oder einer Mehrzahl von Zylindern des Verbrennungsmotors derart erfolgt, dass die entstehenden Verbrennungsprodukte im Abgastrakt zeitlich möglichst früh aufeinandertreffen.

29. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 28, wobei ein Abstimmen der fetten ($\lambda < 1$) und der mageren Zyklen ($\lambda > 1$) der Vorbereitungs- bzw. Wechselphase derart vorgenommen wird, dass

keine Durchbrüche von Kohlenmonoxid (CO) und/oder Kohlenwasserstoffen (HC) und/oder Stickoxiden (NO_x) stromabwärts der Abgasreinigungseinrichtung, insbesondere stromabwärts eines Drei-Wege-Katalysators, des Abgastrakts auftreten.

30. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 29, wobei die während der Vorbereitungs- bzw. Wechselphase entstehenden Schadstoffe (HC, CO; NO_x) durch gegenseitige Reaktion im Katalysator neutralisiert werden.

31. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 30, wobei der Verbrennungsmotor während der Vorbereitungsphase bzw. zeitlich nach der Wechselphase in einem EIC-Betrieb arbeitet.

32. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 31, wobei bei einer üblichen Zündreihenfolge eines Vierzylinder-Verbrennungsmotors von Zylinder eins, drei, vier, zwei ein Initiieren der Vorbereitungsphase bzw. des Wechsels der Betriebsarten zeitlich zuerst bei Zylinder vier vorgenommen wird.

33. Steuereinrichtung, insbesondere Motorsteuereinrichtung (ECU), mittels welcher ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 32 durchführbar ist.

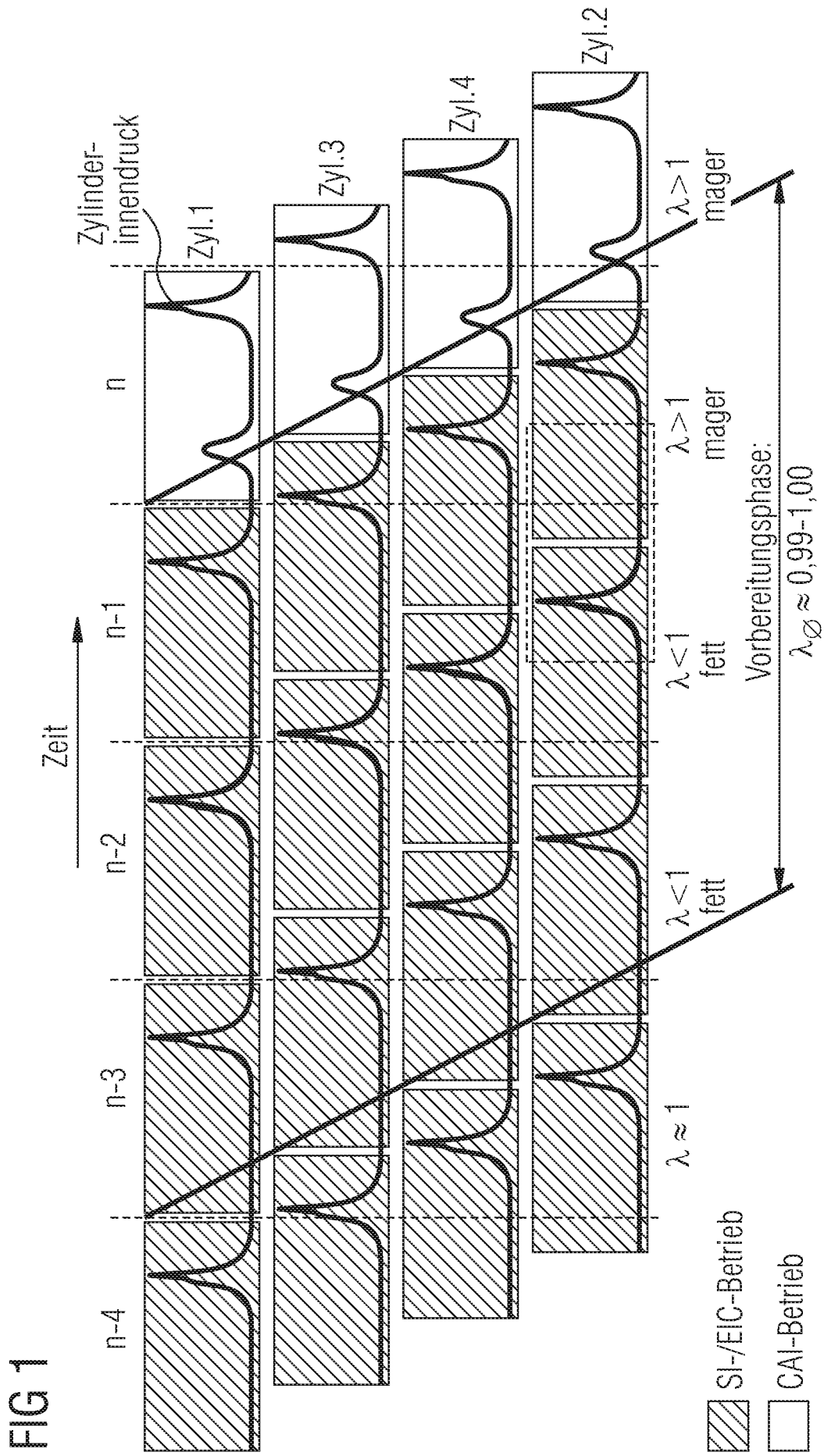

Zylinder-
innendruck
Zyl.1
Zyl.3
Zyl.4
Zyl.2
Zeit
n-4
n-3
n-2
n-1
n
λ ≈ 1
λ < 1
fett
λ < 1
fett
λ > 1
mager
λ > 1
mager
Vorbereitungsphase:
λ∅ ≈ 0,99-1,00
SI-/EIC-Betrieb
CAI-Betrieb

FIG 1

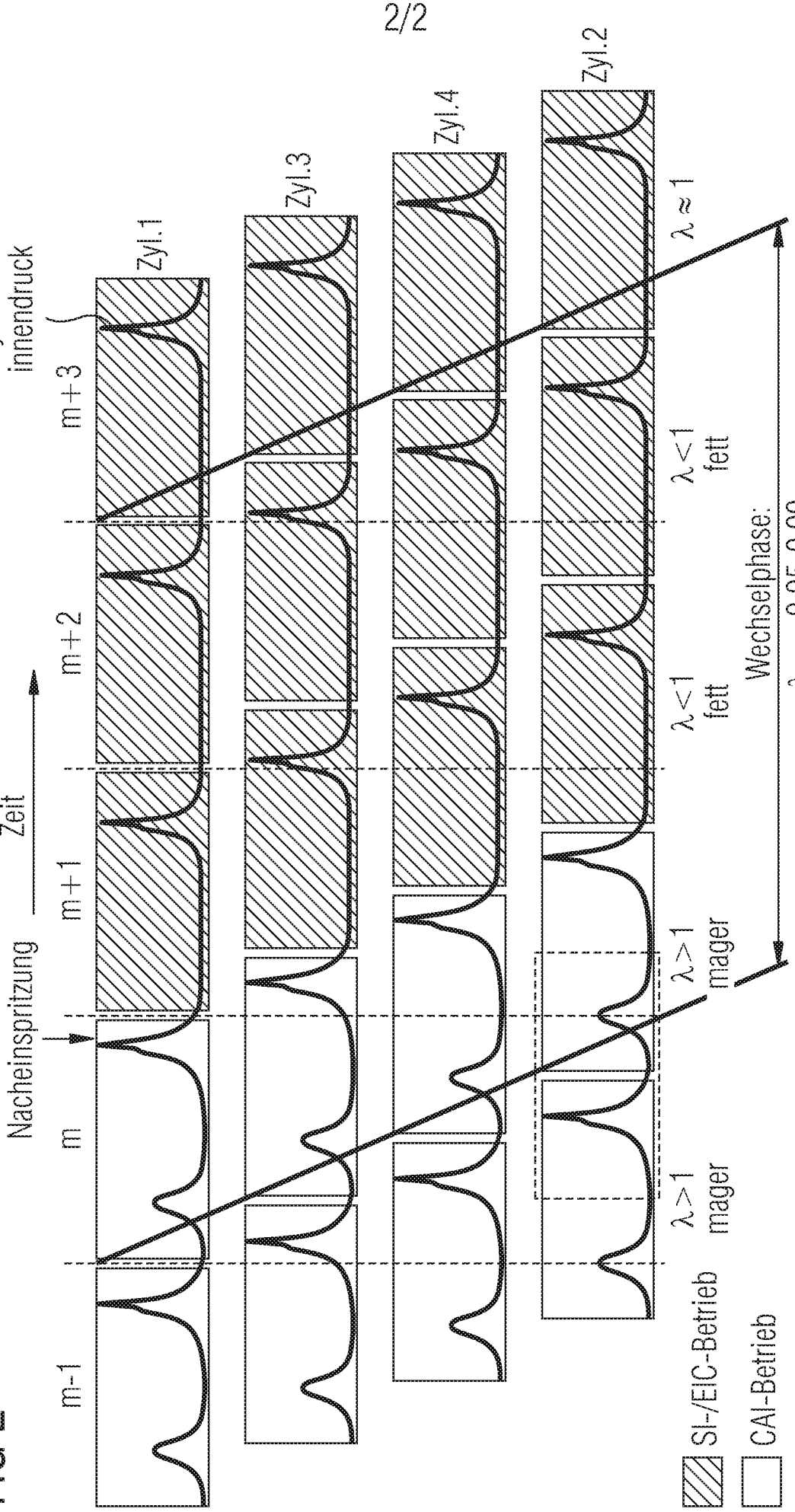

Zylinder-
innendruck
Zyl.1
Zyl.3
Zyl.4
Zyl.2
m+3
m+2
m+1
m
m-1
Zeit
Nacheinspritzung
λ ≈ 1
λ < 1
fett
λ < 1
fett
λ > 1
mager
λ > 1
mager
Wechselphase:
λ∅ ≈ 0,95-0,99
SI-/EIC-Betrieb
CAI-Betrieb

FIG 2