

(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
18. Oktober 2012 (18.10.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/139727 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/00 (2006.01) *F02D 41/14* (2006.01)
F02D 41/40 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/001491

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. April 2012 (04.04.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 017 036.7
14. April 2011 (14.04.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH** [DE/DE];
Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PROTHMANN,
Michael** [DE/DE]; Sauerbruchweg 6, 88048
Friedrichshafen (DE). **FLOHR, Andreas** [DE/DE];
Zeppelinstrasse 311, 88048 Friedrichshafen (DE).
REMELE, Jörg [AT/DE]; Am Sonnenbühl 34, 88709

Hagnau (DE). **LEHMANN, Martin** [DE/DE]; Kirchsteige
12-2, 88079 Kressbronn (DE). **BERNHARD, Alexander**
[DE/DE]; Bachweg 2, 88074 Meckenbeuren (DE).
KRAMMER, Andreas [DE/DE]; Dorfstrasse 8,
88131 Bodolz (DE).

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

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE NOX CONCENTRATION IN THE EXHAUST GAS OF AN INTERNAL
COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR REGELUNG DER NOX-KONZENTRATION IM ABGAS EINER
BRENNKRAFTMASCHINE

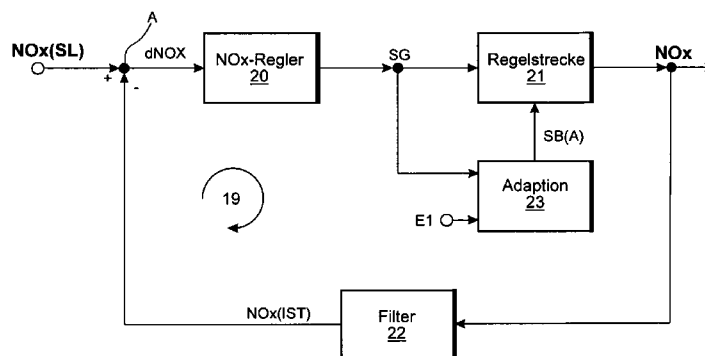


Fig. 2

20 NOx regulator
21 Regulating system
23 Adaptation

(57) Abstract: Proposed is a method for regulating the NOx concentration in the exhaust gas of an internal combustion engine, in which method a NOx regulating deviation (dNOx) is calculated from a NOx actual value (NOx(IST)) and a NOx setpoint value (NOx(SL)), a control variable (SG) is calculated on the basis of the NOx regulating deviation (dNOx) by means of a NOx regulator (20), and at least one state variable of the cylinder inlet flow of the internal combustion engine is set by means of the control variable (SG). The invention is characterized in that, in addition, an adaptation start of injection (SB(A)) is determined as a function of the control variable (SG) of the NOx regulator (20), and the start of injection (SB) is varied by means of the adaptation start of injection (SB(A)).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/139727 A1



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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Regelung der NO_x-Konzentration im Abgas einer Brennkraftmaschine, bei dem eine NO_x-Regelabweichung (dNO_x) aus einem NO_x-Istwert (NO_x(IST)) sowie einem NO_x-Sollwert (NO_x(SL)) berechnet wird, anhand der NO_x-Regelabweichung (dNO_x) über einen NO_x-Regler (20) eine Stellgröße (SG) berechnet wird und über die Stellgröße (SG) zumindest eine Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms der Brennkraftmaschine eingestellt wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass ergänzend ein Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) in Abhängigkeit der Stellgröße (SG) des NO_x-Reglers (20) bestimmt wird und über den Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) der Spritzbeginn (SB) verändert wird.

Verfahren zur Regelung der NO_x-Konzentration im Abgas einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der NO_x-Konzentration im Abgas einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Zur Einhaltung von gesetzlich festgelegten Stickoxid-Emissionsgrenzwerten (NO_x) werden diese bei einer Brennkraftmaschine geregelt. Aus der DE 103 33 933 A1 ist ein entsprechendes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung bekannt. Bei diesem Verfahren wird zunächst eine NO_x-Regelabweichung aus einem NO_x-Istwert zu einem NO_x-Sollwert berechnet. Anhand der NO_x-Regelabweichung bestimmt ein Regler eine Stellgröße. Der Stellgröße wiederum wird dann über ein Kennfeld letztendlich eine Abgasrate zugeordnet. Ergänzend ist eine Logik vorgesehen, welche anhand der Partikel-Regelabweichung und der NO_x-Regelabweichung die Emissionen überprüft. Bei einer Abweichung vom optimalen Verhalten wirkt die Logik entsprechend auf den Regler ein, welcher dann über die Stellgröße das entsprechende Stellglied ansteuert. Kritisch ist bei diesem Verfahren, dass eine bleibende Regelabweichung möglich ist.

Dementsprechend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen NO_x-Regelkreis bezüglich der Regelgüte zu optimieren.

Gelöst wird die Aufgabe durch das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1. Die Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

Das Verfahren besteht darin, dass der Spritzbeginn über einen Adaptionsspritzbeginn verändert wird, wobei der Adaptionsspritzbeginn wiederum aus der Stellgröße des NO_x-Reglers bestimmt wird. Über die Stellgröße des NO_x-Reglers wird zumindest eine Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms der Brennkraftmaschine eingestellt. Unter Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms ist im Sinne der Erfindung der Ladedruck und/oder das rückgeführte Abgas zu verstehen.

Der Adaptionsspritzbeginn bewirkt immer dann eine Veränderung des Spritzbeginns, wenn die Stellgröße des NOx-Regler am positiven oder negativen Anschlag ist. Also dann, wenn das entsprechende Stellglied, zum Beispiel das AGR-Ventil, mechanisch am Anschlag ist. Bestimmt wird der Adaptionsspritzbeginn, indem die Stellgröße des NOx-Reglers anhand von Grenzwerten bewertet wird und in Abhängigkeit der Bewertung eine erste Adaptionsfunktion, eine zweite Adaptionsfunktion oder eine Normalfunktion gesetzt wird. Bei gesetzter erster Adaptionsfunktion wird über den Adaptionsspritzbeginn der Spritzbeginn nach spät verändert. Nach spät bedeutet, dass die Einspritzung bei einem kleineren Kurbelwellenwinkel vor dem oberen Totpunkt beginnt. Zum Beispiel bei 5° vor dem oberen Totpunkt anstelle von 7° vor dem oberen Totpunkt. Bei gesetzter zweiter Adaptionsfunktion wird über den Adaptionsspritzbeginn der Spritzbeginn nach früh verändert, zum Beispiel 10° vor dem oberen Totpunkt anstelle von 5° vor dem oberen Totpunkt. Bei gesetzter Normalfunktion bleibt hingegen der Spritzbeginn unverändert.

Die Erfindung besticht durch ihre einfache Umsetzung, da diese vollständig in der Software der Motorregelung umgesetzt werden kann. Die einfache Umsetzung zeigt sich auch darin, dass lediglich die Grenzwerte der Adaption bedatet werden und daher aufwendige Abstimmungen nicht erforderlich sind. Bleibende Regelabweichungen werden wirksam unterbunden, indem dann der Adaptionsspritzbeginn zum Tragen kommt, wenn der Hub der Stellgröße des NOx-Reglers nicht ausreicht um die NOx-Regelabweichung zu verringern.

In den Figuren ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt. Es zeigen:

- Figur 1 ein Systemschaubild,
- Figur 2 ein NOx-Regelkreis mit Adaption,
- Figur 3 ein Blockschaltbild der Adaption,
- Figur 4 ein Zustandsdiagramm,
- Figur 5 ein Zeitdiagramm,
- Figur 6 einen Programmablaufplan,
- Figur 7 ein Unterprogramm und
- Figur 8 ein Unterprogramm.

Die Figur 1 zeigt ein Systemschaubild einer elektronisch gesteuerten Brennkraftmaschine 1 mit einer 1-stufigen Aufladung und einer Abgasrückführung

(AGR). Die Kraftstoffeinspritzung erfolgt über ein Common-Railsystem. Dessen Funktion wird als bekannt vorausgesetzt. Die mechanische Komponenten sind ein Kraftstofftank 2, eine Niederdruckpumpe 3, eine Saugdrossel 4, eine Hochdruckpumpe 5, ein Rail 6 und Injektoren 7 zum Einspritzen des Kraftstoffs in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1. Im Injektor 7 ist optional ein Einzelspeicher 8 als zusätzliches Puffervolumen integriert.

Die 1-stufige Aufladung mit Abgasrückführung (AGR) umfasst einen Abgasturbolader 11 mit Verdichter 12 sowie Turbine 13, einen Ladeluftkühler 14, ein AGR-Ventil 16 zur Einstellung des rückgeführten Abgases und ein Wastegate 17 zur Umgehung der Turbine 13 des Abgasturboladers 11. Die Funktionalität der 1-stufigen Aufladung und der Abgasrückführung wird als bekannt vorausgesetzt. Ergänzt wird die Anordnung durch einen Drucksensor 15 zur Bestimmung des Ladedrucks, Signal: p5, und einen NOx-Sensor 18 stromab der Turbine 13.

Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (ECU) 10 bestimmt. Das elektronische Steuergerät 10 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 10 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In der Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: der Raildruck pCR, der mittels eines Rail-Drucksensors 9 gemessen wird, ein Einzelspeicherdruck pE, das Druckniveau p5 der Ladeluft, die NOx-Rohwerte des NOx-Sensors 18 und eine Eingangsgröße EIN. Unter der Eingangsgröße EIN sind die weiteren Sensorsignale zusammengefasst, beispielsweise die Motordrehzahl oder ein Fahrpedalsignal. In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 10 ein PWM-Signal PWMSD zur Ansteuerung der Saugdrossel 4 als Druckstellglied, ein Signal ve zur Ansteuerung der Injektoren 7, das Ansteuersignal WGR für das Wastegate 17, das Ansteuersignal AGRR für das AGR-Ventil 16 und eine Ausgangsgröße AUS dargestellt. Das Signal ve steht stellvertretend für einen Spritzbeginn (SB) und ein Spritzende. Die Ausgangsgröße AUS steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1.

Über das Ansteuersignal WGR für das Wastegate 17 wird der an der Turbine 13 vorbeigeführte Abgasstrom WG eingestellt. Über den vorbeigeführten Abgasstrom WG wiederum wird, aufgrund der mechanischen Kopplung Turbine 13/Verdichter 12, der Ladedruck p5 in einer Einlassleitung 30 der Brennkraftmaschine 1 eingestellt. Der Ladedruck p5 kennzeichnet daher eine Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms ZAS der Brennkraftmaschine 1. Über das Ansteuersignal AGRR wird das rückgeführte Abgas AGR eingestellt. Das rückgeführte Abgas AGR kennzeichnet daher eine weitere Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms ZAS der Brennkraftmaschine 1.

In der Figur 2 ist ein NOx-Regelkreis 19 zur Regelung der Stickoxidemissionen dargestellt. Die Eingangsgröße des NOx-Regelkreises, also die Führungsgröße, ist der NOx-Sollwert NOx(SL). Die Ausgangsgröße des NOx-Regelkreises, also die Regelgröße, ist der NOx-Rohwert der Stickoxidemissionen. Die Elemente des NOx-Regelkreises sind ein NOx-Regler 20, typischerweise mit PID-Verhalten, die Regelstrecke 21 und ein (Software-) Filter 22. Die NOx-Rohwerte werden über das optionale Filter 22 gefiltert. Die gefilterten Werte entsprechen dem NOx-Istwert NOx(IST). An einem Summationspunkt A werden der NOx-Istwert NOx(IST) mit dem NOx-Sollwert NOx(SL) verglichen, woraus die NOx-Regelabweichung dNOx resultiert. Anhand der NOx-Regelabweichung dNOx berechnet dann der NOx-Regler 20 sein Stellsignal SG. Über das Stellsignal SG wird zumindest eine Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms der Brennkraftmaschine eingestellt, zum Beispiel der Ladedruck (Fig. 1: p5). Die Regelstrecke 21 entspricht je nach Ausführungsform dann dem Wastegate und/oder dem AGR-Ventil. Über den NOx-Senor (Fig. 1: 18) werden die Stickoxidemissionen im Abgas erfasst. Damit ist der NOx-Regelkreis 19 geschlossen.

Ergänzt wird der NOx-Regelkreis durch eine Adaption 23. Hierbei bilden der NOx-Regler 20 und die Adaption 23 eine Master-Slave-Anordnung, bei welcher der NOx-Regler der Master ist und die Adaption 23 der Slave ist. Die Eingangsgrößen der Adaption 23 sind die Stellgröße SG des NOx-Reglers 20 und eine Eingangsgröße E1, welche stellvertretend für verschiedene Grenzwerte (s. Figur 3) steht. Die Ausgangsgröße der Adaption 23 ist ein Adaptionsspritzbeginn SB(A). Über den Adaptionsspritzbeginn SB(A) wird der Spritzbeginn verändert, zum Beispiel indem der Spritzbeginn mit dem Adaptionsspritzbeginn addiert wird. Typischerweise wird der Spritzbeginn über ein Kennfeld in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine berechnet, zum Beispiel in Abhängigkeit der Leistungsanforderung und der Motordrehzahl.

Die weitere Erklärung erfolgt gemeinsam mit der Figur 3, welche ein Blockschaltbild der Adaption 23 zeigt. Die Adaption umfasst eine Logik 24, einen Integrator 25 als I-Regler und schließlich noch eine Begrenzung 26. Über die Logik 24 wird die Stellgröße SG anhand von Grenzwerten beurteilt und der Integrator 25 freigeschaltet. Die dargestellten Grenzwerte sind ein Maximalwert MAX1 zur Beurteilung des rückgeführten Abgases AGR und ein Maximalwert MAX3 zur Beurteilung des Ladedrucks p5. Ferner zwei Grenzwerte zur Beurteilung des Adaptionsspritzbeginns SB(A), nämlich ein Minimalwert MIN2 und ein Maximalwert MAX2. Zur Verbesserung der Stabilität sind in Bezug auf das rückgeführte Abgas AGR ein Hysteresewert HY1 und in Bezug auf den Ladedruck p5 ein Hysteresewert HY3 als weitere Eingangsgrößen vorgesehen. Die Ausgangswerte der Logik 24, hier: die Werte +1, 0, -1, werden vom Integrator 25 summiert. Über das Signal RS kann dieser zurückgesetzt werden. Der integrierte Spritzbeginn SB(I), also das Ausgangssignal des Integrators 25, wird danach über die Begrenzung 26 limitiert. Liegt der integrierte Spritzbeginn SB(I) zwischen dem zweiten Minimalwert MIN2 und dem zweiten Maximalwert MAX2, so ist der Wert des Adaptionsspritzbeginns SB(A) identisch mit dem integrierten Spritzbeginn SB(I). Anderenfalls wird der integrierte Spritzbeginn SB(I) auf den zweiten Minimalwert MIN2 oder den zweiten Maximalwert MAX2 begrenzt.

Die Funktionalität der Adaption 23 besteht darin, dass immer dann die Adaption freigeschaltet wird, wenn die Stellgröße des NOx-Reglers am positiven oder negativen Anschlag ist. Am positiven oder negativen Anschlag bedeutet, dass das entsprechende Stellglied, zum Beispiel das AGR-Ventil, mechanisch am Anschlag ist. Bei freigeschalteter Adaption wird in Abhängigkeit der Stellgröße SG des NOx-Reglers eine erste Adaptionsfunktion oder eine zweite Adaptionsfunktion gesetzt oder die Normalfunktion beibehalten bzw. zu dieser zurückgekehrt. Ist beispielsweise der Ladedruck p5 größer als der Maximalwert MAX3, so wird die erste Adaptionsfunktion gesetzt und von der Logik 24 ein Wert -1 ausgegeben. Bei gesetzter erster Adaptionsfunktion wird über den Adaptionsspritzbeginn SB(A) der Spritzbeginn nach spät verstellt. Die verschiedenen Zustände werden in Verbindung mit der Figur 4 erläutert.

In einer nicht dargestellten Ausführungsform zur Figur 3 ist die Logik und der Integrator durch einen Regler mit zumindest PI-Verhalten ersetzt. Bei dieser Ausführungsform ist neben der einfachen Bedatbarkeit der größere Regelbereich von Vorteil, da über zwei Stellglieder, hier: das AGR-Ventil und das Wastegate, eingegriffen werden kann.

Die Figur 4 zeigt ein Zustandsdiagramm. Mit Bezugszeichen 27 ist die Normalfunktion gekennzeichnet. Die Normalfunktion 27 ist gesetzt, wenn die Stellgröße SG des NOx-Reglers innerhalb eines vorgegebenen Wertebereichs liegt. Wenn also der NOx-Regler die NOx-Regelabweichung selber ausregeln kann. Über die Stellgröße SG des NOx-Reglers werden die Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms der Brennkraftmaschine eingestellt. Unter Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms sind im Sinne der Erfindung der Ladedruck p5 (Einheit: bar), und/oder der Anteil des rückgeführten Abgases (Einheit: %) zu verstehen. Wird nun der NOx-Sollwert abgesenkt, so stellt sich eine negative NOx-Regelabweichung ein. Hierauf reagiert der NOx-Regler indem er seinen Stellgröße SG anhebt. Übersteigt eine der Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms einen Grenzwert, so wird die erste Adaptionfunktion 28 gesetzt, also wenn das rückgeführte Abgas AGR größer/gleich dem Maximalwert MAX1 wird oder wenn der Ladedruck p5 größer/gleich dem Maximalwert MAX3 wird. In der Praxis entsprechen die beiden Grenzwerte dem physikalischen Anschlag des AGR-Ventils (Fig. 1: 16) und des Wastegates (Fig. 1: 17). Mit anderen Worten: Der NOx-Regler, also der Master, ist am positiven Anschlag und hat damit keine weitere Möglichkeit mehr zur Einflussnahme. Bei gesetzter erster Adaptionfunktion 28 wird über die Adaption 23 ein negativer Adaptionsspritzbeginn SB(A) berechnet. Zum Beispiel $SB(A) = -2^\circ$. Hierdurch wird der aktuelle Spritzbeginn, zum Beispiel 5° vor dem oberen Totpunkt, auf einen neuen Wert von 3° vor dem oberen Totpunkt verändert. Die Funktionalität der ersten Adaptionfunktion 28 besteht also darin, über den Adaptionsspritzbeginn SB(A) den NOx-Istwert so zu verändern, dass der blockierte Master (NOx-Regler) wieder in den regelbaren Bereich zurück kommt.

Ist der Master wieder freigefahren, so verringert sich seine Stellgröße SG. Die erste Adaptionfunktion 28 wird dann zurückgesetzt und zur Normalfunktion 27 zurückgekehrt, wenn der rückgeführte Abgasstrom AGR kleiner wird als der Maximalwert MAX1 verringert um den Hysteresewert HY1 oder wenn der Ladedruck p5 kleiner wird als der Maximalwert MAX3 verringert um den Hysteresewert HY3 oder wenn der Adaptionsspritzbeginn SB(A) größer/gleich dem Maximalwert MAX2 wird.

Aufgrund einer positiven NOx-Regelabweichung, das heißt, der NOx-Istwert ist geringer als der NOx-Sollwert, verringert der NOx-Regler seine Stellgröße SG. Wird nun bei gesetzter Normalfunktion 27 erkannt, dass entweder das rückgeführte Abgas AGR kleiner

wird als der Maximalwert MAX1 verringert um die Hysterese HY1 oder dass der Ladedruck p_5 kleiner wird als der Maximalwert MAX3 verringert um die Hysterese HY3 und wenn ferner zugleich der Adaptionsspritzbeginn SB(A) größer als der Minimalwert MIN2 wird, so wird eine zweite Adaptionfunktion 29 gesetzt. Über die zweite Adaptionfunktion 29 wird der Spritzbeginn nach früh verstellt. Bei gesetzter zweiter Adaptionfunktion 29 wird über die Adaption 23 ein positiver Adaptionsspritzbeginn SB(A) berechnet. Zum Beispiel $SB(A)=+2^\circ$. Für das zuvor genannte Zahlenbeispiel ergibt sich somit ein Spritzbeginn von 7° vor dem oberen Totpunkt. Die Funktionalität der zweiten Adaptionfunktion 29 besteht also darin den blockierten Master (NOx-Regler) wird in den regelbaren Bereich zurückzubringen. Die zweite Adaptionfunktion 29 wird dann zurückgesetzt und zur Normalfunktion 27 zurückgekehrt wird, wenn das rückgeführte Abgas AGR größer/gleich dem Maximalwert MAX1 wird oder wenn der Ladedruck p_5 größer/gleich dem Maximalwert MAX3 wird oder wenn Adaptionsspritzbeginn SB(A) kleiner/gleich dem Minimalwert MIN2 wird. Bei der Rückkehr in die Normalfunktion 27 wird der aktuelle Wert des Adaptionsspritzbeginns SB(A) beibehalten.

In der Figur 5 ist ein Zeitdiagramm dargestellt. Die Figur 5 besteht aus den Figuren 5A bis 5C. Hierbei zeigt Figur 5A einen Stickoxidverlauf in Gramm/Kilowattstunde (g/kWh), die Figur 5B beispielhaft das rückgeführte Abgas AGR und Figur 5C den Adaptionsspritzbeginn SB(A) in Grad Kurbelwellenwinkel. In der Figur 5A sind als durchgezogene Linie der NOx-Istwert NOx(IST) und als gestrichelte Linie der NOx-Sollwert NOx(SL) dargestellt.

Vor dem Zeitpunkt t_1 befindet sich die Brennkraftmaschine im eingeschwungen Zustand. Im eingeschwungen Zustand entspricht der NOx-Istwert NOx(IST) dem NOx-Sollwert NOx(SL), die NOx-Regelabweichung ist daher null. Vom NOx-Regler wird eine Stellgröße SG von null berechnet. Damit ist die Normalfunktion (Fig. 4: 27) gesetzt. Bei gesetzter Normalfunktion ist der Adaptionsspritzbeginn nicht bestimmend. Zum Zeitpunkt t_1 wird der NOx-Sollwert vom Anfangswert $NOx(SL)=4 \text{ g/kWh}$ auf den neuen Wert $NOx(SL)=2 \text{ g/kWh}$ verringert. Aufgrund der nunmehr negativen NOx-Regelabweichung erhöht der NOx-Regler sukzessive seine Stellgröße SG. Als Folge davon steigt das rückgeführte Abgas AGR an. Zum Zeitpunkt t_2 befindet sich der NOx-Regler am positiven Anschlag. In der Figur 5B ist das rückgeführte Abgas gleich groß wie der Maximalwert MAX1. Zum Zeitpunkt t_2 hat der NOx-Regler, also der Master, keine weitere Möglichkeit mehr zur Beeinflussung der Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms, also des

rückgeführten Abgases AGR und/oder des Ladedrucks p_5 . Mit anderen Worten: das Wastegate und das AGR-Ventil sind physikalisch am Anschlag. Nach Ablauf einer Sperrzeit t_{SP} (Zeitraum t_2/t_3) wird die erste Adaptionfunktion freigegeben. Selbstverständlich kann die Sperrzeit auch null sein. Bei gesetzter erster Adaptionfunktion wird über die Adaption ein negativer Adaptionsspritzbeginn $SB(A)$ berechnet. In der Figur 5C verändert sich daher der Adaptionsspritzbeginn von $SB(A)=0$ Grad in Richtung auf $SB(A)=-1.5$ Grad, also nach spät. Aufgrund des späteren Spritzbeginns nimmt der NO_x -Istwert $NO_x(IST)$, vom Zeitpunkt t_3 an, ab, worauf hin der NO_x -Regler sein Stellgröße SG ab dem Zeitpunkt t_4 verringert. Zum Zeitpunkt t_4 unterschreitet ist das rückgeführte Abgas AGR den Grenzwert $MAX1$ verringert um die Hysterese $HY1$ (Fig. 5B). Da nunmehr der NO_x -Regler wieder sicher in seinem Regelbereich ist, wird von der ersten Adaptionfunktion zur Normalfunktion zurückgekehrt. Ebenfalls zum Zeitpunkt t_4 hat der Adaptionsspritzbeginn $SB(A)$ seinen Endwert $SB(A)=-1.5$ Grad erreicht.

In der Figur 6 ist das Verfahren in einem Programmablaufplan als Hauptprogramm dargestellt. Nach der Initialisierung wird der bei S1 die Normalfunktion gesetzt. Danach wird bei S2 die NO_x -Regelabweichung dNO_x anhand des NO_x -Sollwerts $NO_x(SL)$ und des NO_x -Istwerts $NO_x(IST)$ berechnet. In Abhängigkeit der NO_x -Regelabweichung dNO_x bestimmt bei S3 wiederum der NO_x -Regler seine Stellgröße SG . Über die Stellgröße SG werden die Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms der Brennkraftmaschine definiert. Unter Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms sind im Sinne der Erfindung einmal der Ladedruck p_5 und/oder der Anteil des rückgeführten Abgases AGR zu verstehen. Bei S4 wird dann geprüft, ob der rückgeführte Abgasstrom AGR größer/gleich dem Maximalwert $MAX1$ wird oder ob der Ladedruck p_5 größer/gleich dem Maximalwert $MAX3$ wird. Lautet das Abfrageergebnis S4 ja, so wird in ein Unterprogramm UP1 verzweigt, welches der ersten Adaptionfunktion entspricht. Dieses ist in der Figur 7 dargestellt und wird in Verbindung mit der Figur erklärt. Wurde bei S4 festgestellt, dass keine der beiden Zustandsgrößen größer als der entsprechende Maximalwert ist, Abfrageergebnis S4: nein, so wird zu S5 verzweigt. Bei S5 wird geprüft, ob entweder das rückgeführte Abgas AGR kleiner wird als der Maximalwert $MAX1$ verringert um den Hysteresewert $HY1$ oder ob der Ladedruck p_5 kleiner wird als der Maximalwert $MAX3$ verringert um den Hysteresewert $HY3$. Ergänzend wird geprüft ob der Adaptionsspritzbeginn $SB(A)$ größer wird als Minimalwert $MIN2$. Ist dies zutreffend, Abfrageergebnis S5: ja, so wird in ein

Unterprogramm UP2 der Figur 8 verzweigt. Anderenfalls, Abfrageergebnis S5: nein, wird zum Punkt A verzweigt, das heißt, die Normalfunktion bleibt gesetzt.

In Figur 7 ist das Unterprogramm UP1 dargestellt. Das Unterprogramm UP1 wird dann aufgesucht, wenn bei S4 der Figur 6 die Abfrage positiv war. Also dann, wenn der NOx-Regler keine Möglichkeit mehr hat die Zustandsgrößen des Zylindereinlassstroms zu regeln, weil entweder das Wastegate und/oder das AGR-Ventil am mechanischen Anschlag stehen. Bei S1 wird dann die erste Adaptionsspritzfunktion gesetzt. Danach wird bei S2 der Adaptionsspritzbeginn SB(A) entsprechend der Vorgehensweise der Fig. 3 berechnet. Im Anschluss wird bei S3 geprüft, ob der rückgeführte Abgasstrom AGR kleiner wird als der Maximalwert MAX1 verringert um einen Hysteresewert HY1 oder ob der Ladedruck p5 kleiner wird als der Maximalwert MAX3 verringert um einen Hysteresewert HY3 oder ob der Adaptionsspritzbeginn SB(A) größer/gleich einem Maximalwert MAX2 wird. Ist dies nicht der Fall, Abfrageergebnis S3: nein, so wird zum Punkt B verzweigt. Anderenfalls, Abfrageergebnis S3: ja, wird in das Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A, zurückverzweigt.

In Figur 8 ist das Unterprogramm UP2 dargestellt. Das Unterprogramm UP2 wird dann aufgesucht, wenn bei S5 der Figur 6 die Abfrage positiv war. Bei S1 wird dann die zweite Adaptionsspritzfunktion gesetzt. Danach wird bei S2 der Adaptionsspritzbeginn SB(A) entsprechend der Figur 3 berechnet. Im Anschluss wird bei S3 geprüft, ob das rückgeführte Abgas AGR größer/gleich dem Maximalwert MAX1 wird oder ob der Ladedruck (p5) größer/gleich dem Maximalwert MAX3 wird oder ob der Adaptionsspritzbeginn SB(A) kleiner/gleich dem Minimalwert (MIN2) wird. Ist dies nicht der Fall, Abfrageergebnis S3: nein, so wird zum Punkt B verzweigt. Anderenfalls, Abfrageergebnis S3: ja, wird in das Hauptprogramm der Figur 6, Punkt A, zurückverzweigt.

Bezugszeichen

1	Brennkraftmaschine
2	Kraftstofftank
3	Niederdruckpumpe
4	Saugdrossel
5	Hochdruckpumpe
6	Rail
7	Injektor
8	Einzel Speicher
9	Rail-Drucksensor
10	elektronisches Steuergerät (ECU)
11	Abgasturbolader
12	Verdichter
13	Turbine
14	Ladeluftkühler
15	Drucksensor, Ladeluft
16	AGR-Ventil
17	Wastegate
18	NOx-Sensor
19	NOx-Regelkreis
20	NOx-Regler
21	Regelstrecke
22	Filter
23	Adaption
24	Logik
25	Integrator
26	Begrenzung
27	Normalfunktion
28	Erste Adaptionfunktion
29	Zweite Adaptionfunktion
30	Einlassleitung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der NO_x-Konzentration im Abgas einer Brennkraftmaschine (1), bei dem eine NO_x-Regelabweichung (dNO_x) aus einem NO_x-Istwert (NO_x(IST)) sowie einem NO_x-Sollwert (NO_x(SL)) berechnet wird, anhand der NO_x-Regelabweichung (dNO_x) über einen NO_x-Regler (20) eine Stellgröße (SG) berechnet wird und über die Stellgröße (SG) zumindest eine Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms (ZAS) der Brennkraftmaschine (1) eingestellt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass ergänzend ein Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) in Abhängigkeit der Stellgröße (SG) des NO_x-Reglers (20) bestimmt wird und über den Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) der Spritzbeginn (SB) verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Zustandsgröße des Zylindereinlassstroms (ZAS) ein Ladedruck (p₅) und/oder ein rückgeführtes Abgas (AGR) über die Stellgröße (SG) eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) bestimmt wird, indem die Stellgröße (SG) des NO_x-Reglers (20) anhand von Grenzwerten bewertet wird und in Abhängigkeit der Bewertung eine erste Adaptionfunktion (28), eine zweite Adaptionfunktion (29) oder eine Normalfunktion (27) gesetzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,
dass bei gesetzter erster Adaptionfunktion (28) über den Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) der Spritzbeginn (SB) nach spät verändert wird, bei gesetzter zweiter Adaptionfunktion (29) über den Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) der Spritzbeginn (SB) nach früh verändert wird und bei gesetzter Normalfunktion (27) über den Adaptionsspritzbeginn der Spritzbeginn (SB) unverändert bleibt.

5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Adaptionfunktion (28) gesetzt wird, wenn der rückgeführte Abgasstrom (AGR) größer/gleich einem Maximalwert (MAX1) wird oder wenn der Ladedruck (p5) größer/gleich einem Maximalwert (MAX3) wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Adaptionfunktion (28) zurückgesetzt und zur Normalfunktion (27) zurückgekehrt wird, wenn der rückgeführte Abgasstrom (AGR) kleiner als der Maximalwert (MAX1) verringert um einen Hysteresewert (HY1) wird oder wenn der Ladedruck (p5) kleiner als der Maximalwert (MAX3) verringert um einen Hysteresewert (HY3) wird oder wenn der Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) größer/gleich einem Maximalwert (MAX2) wird.
7. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Adaptionfunktion (29) gesetzt wird, wenn das rückgeführte Abgas (AGR) kleiner als der Maximalwert (MAX1) verringert um den Hysteresewert (HY1) wird oder wenn der Ladedruck (p5) kleiner als der Maximalwert (MAX3) verringert um den Hysteresewert (HY3) wird und wenn ferner der Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) größer als ein Minimalwert (MIN2) wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Adaptionfunktion (29) zurückgesetzt und zur Normalfunktion (27) zurückgekehrt wird, wenn das rückgeführte Abgas (AGR) größer/gleich dem Maximalwert (MAX1) wird oder wenn der Ladedruck (p5) größer/gleich dem

Maximalwert (MAX3) wird oder wenn Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) kleiner/gleich dem Minimalwert (MIN2) wird.

9. Verfahren nach einem der vorausgegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) berechnet wird, indem der Stellgröße (SG) des NOx-Reglers (20) über eine Logik (24) ein Wert zugeordnet wird, der Wert über einen Integrator (25) summiert und über eine Begrenzung (26) limitiert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Adaptionsspritzbeginn (SB(A)) anstelle über den Integrators (25) über einen Regler mit zumindest PI-Verhalten berechnet wird.

1 / 5

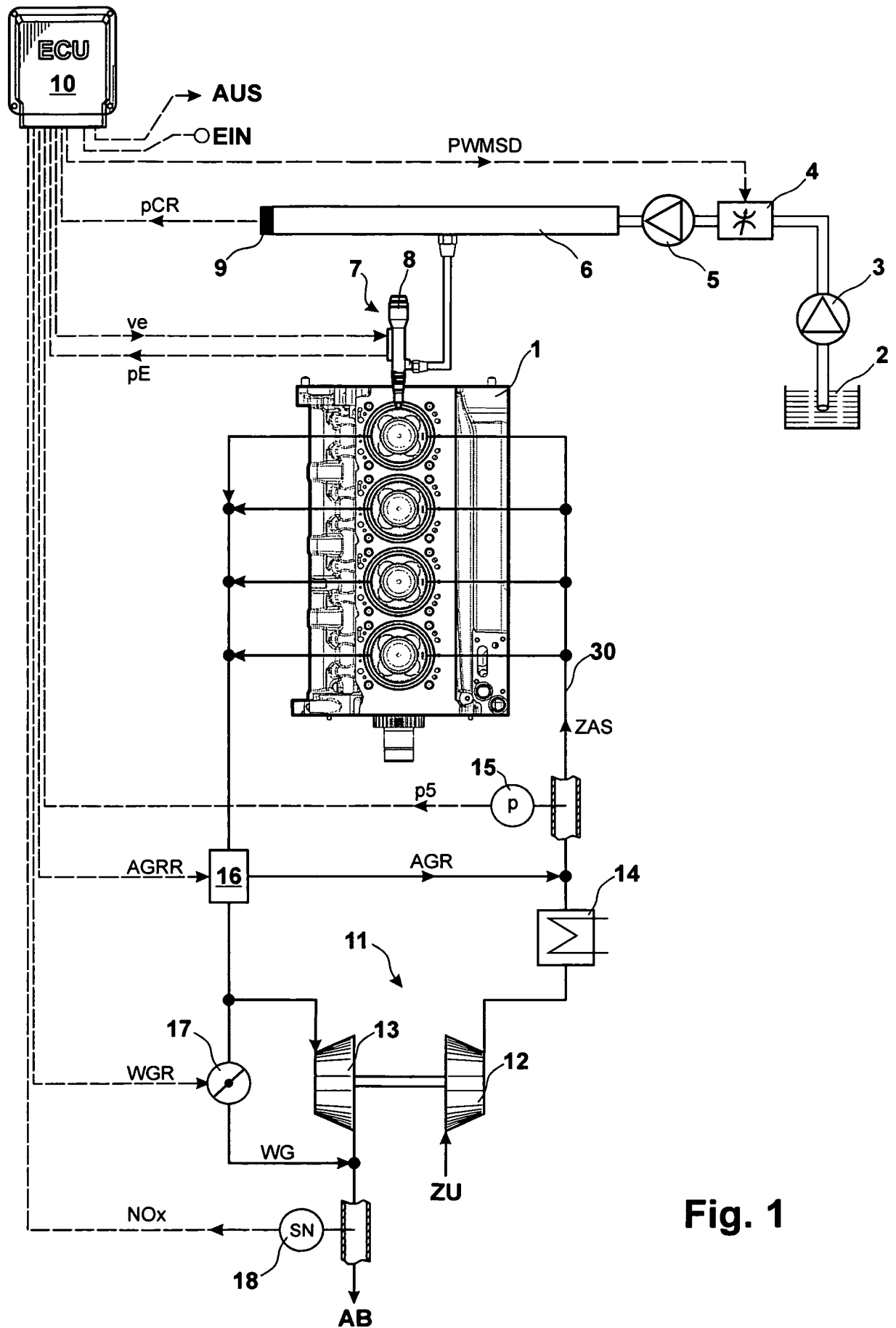


Fig. 1

2 / 5

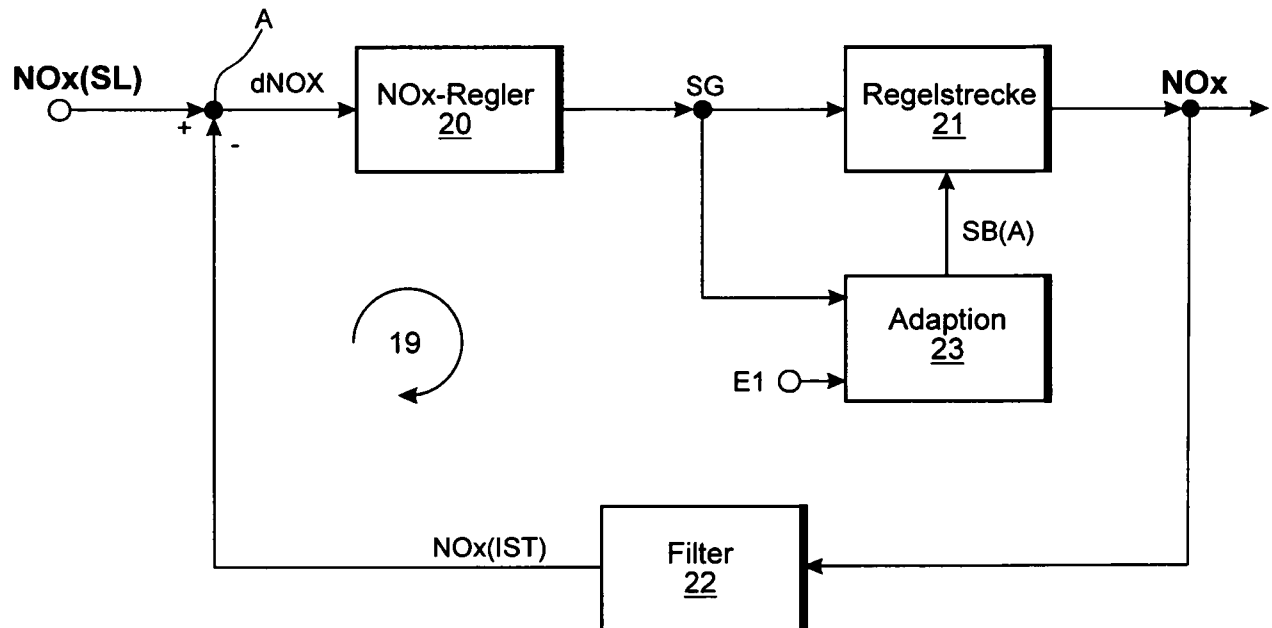


Fig. 2

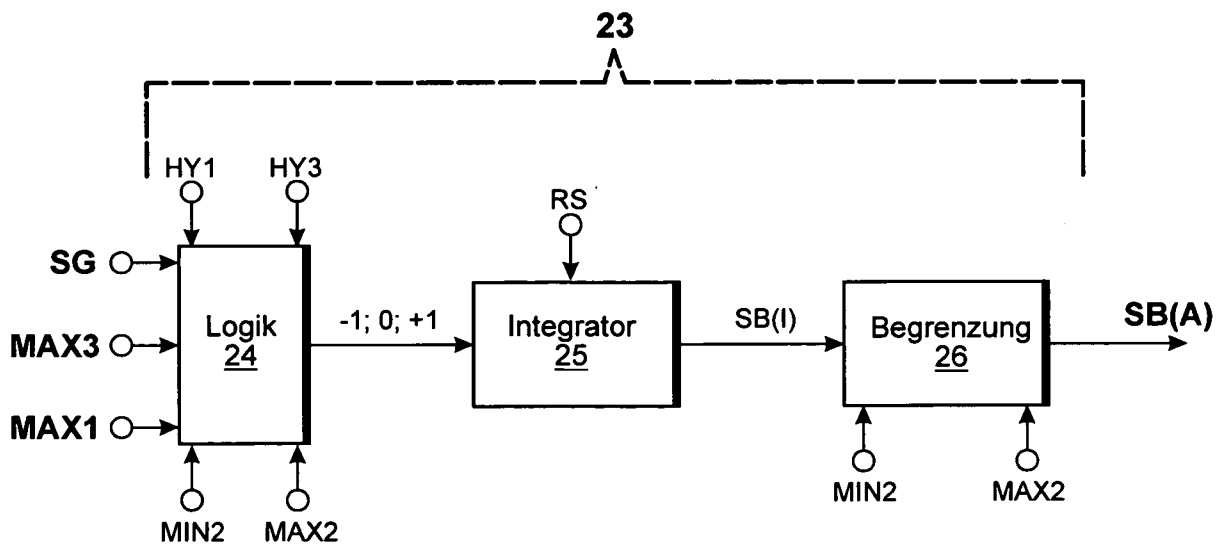


Fig. 3

3 / 5

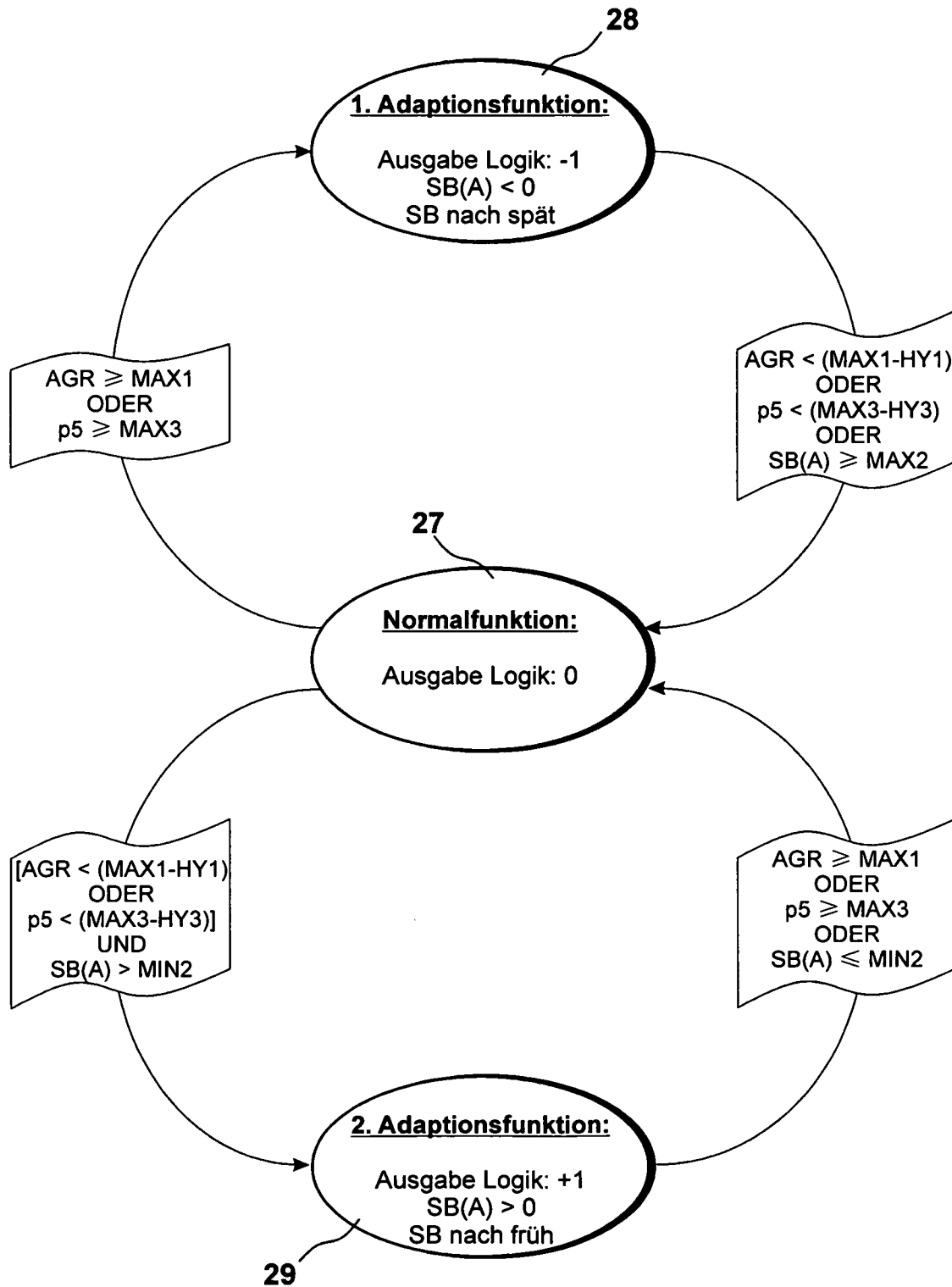


Fig. 4

4 / 5

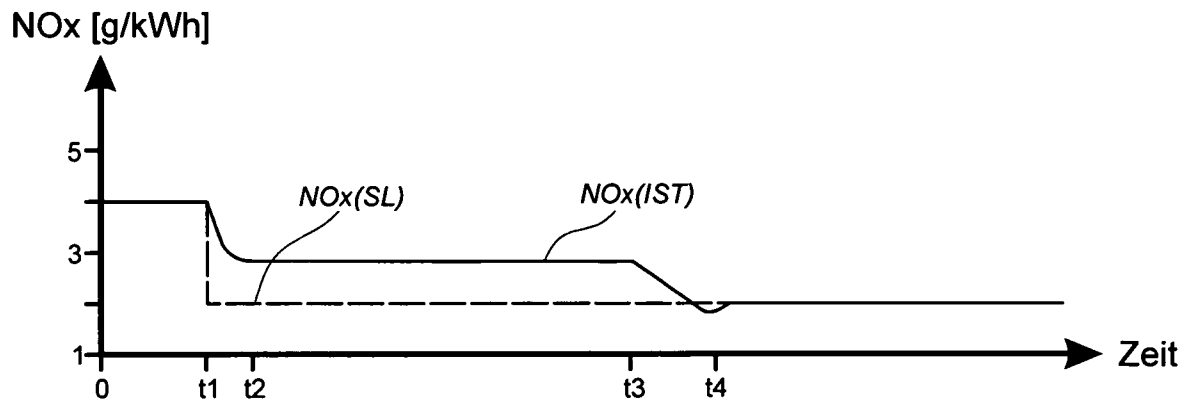


Fig. 5A

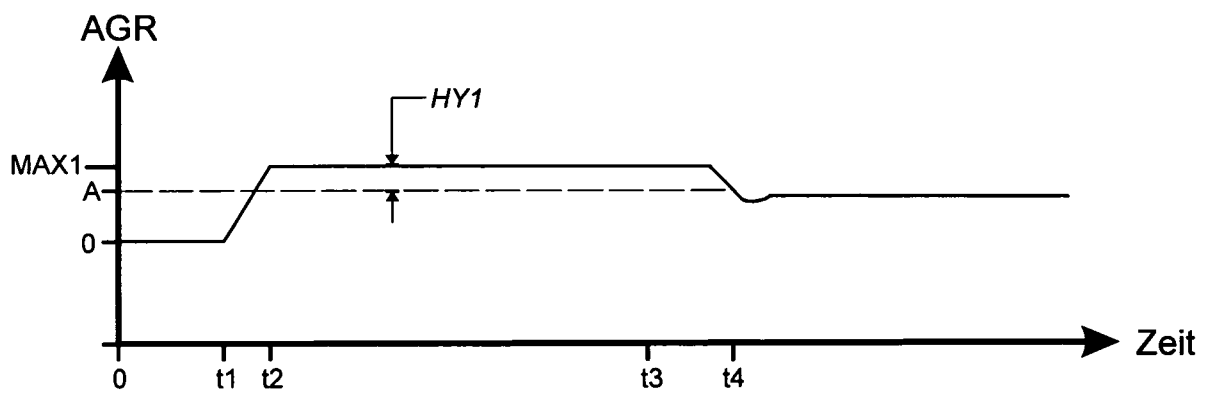


Fig. 5B

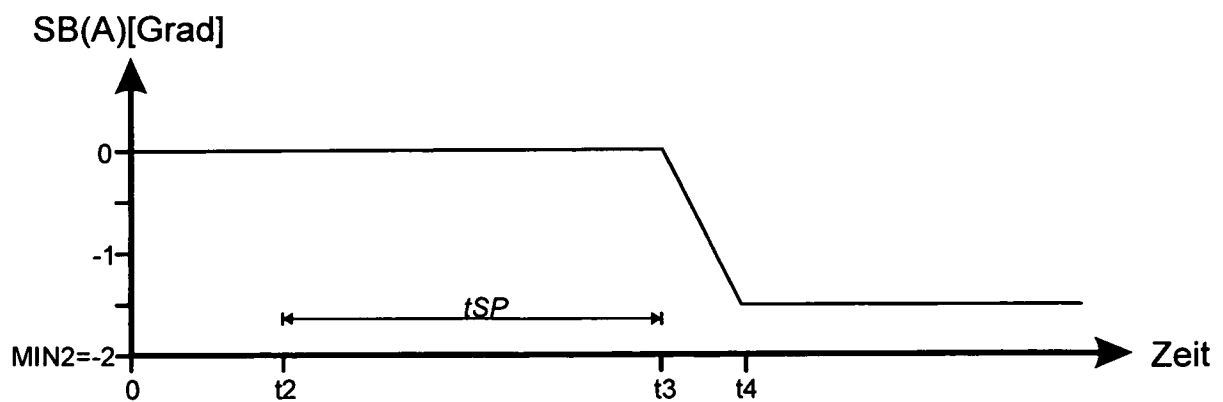
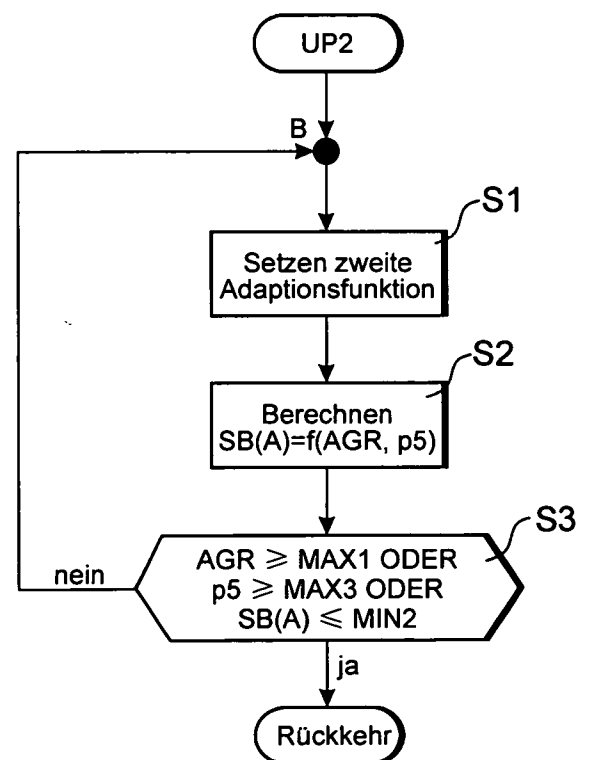
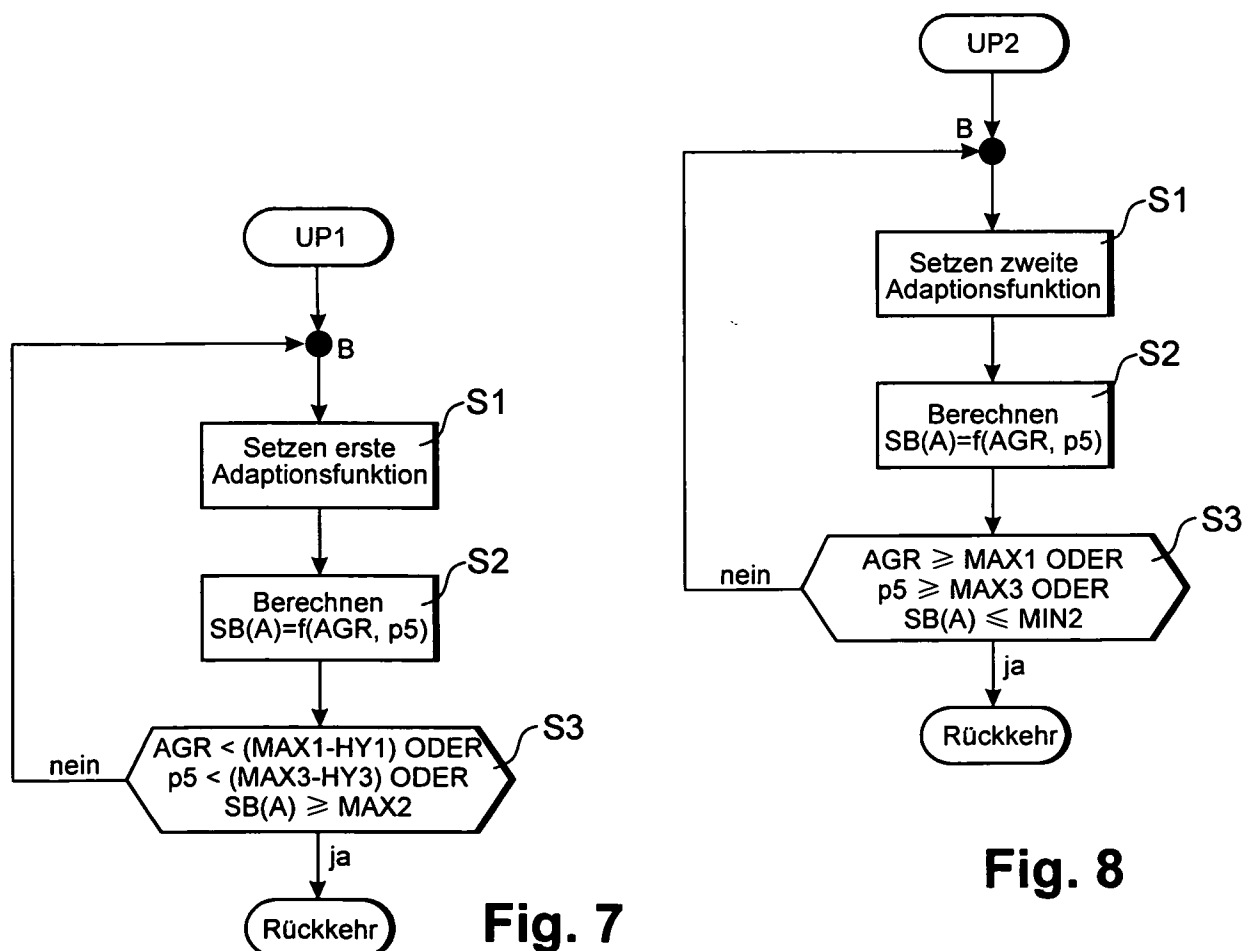
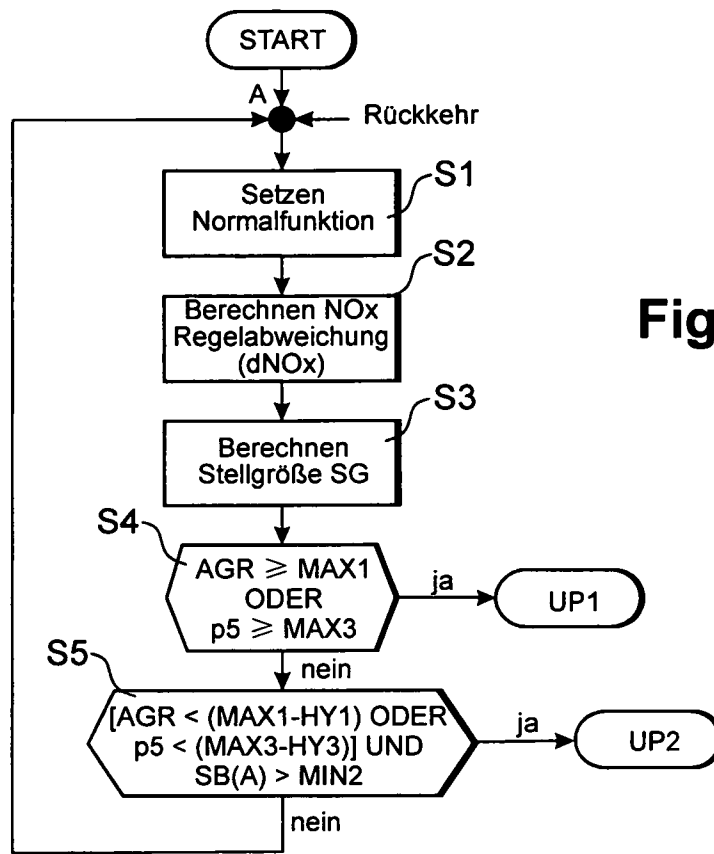


Fig. 5C

5 / 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/001491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02D41/00 F02D41/40 F02D41/14
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/039452 A2 (SOUTHWEST RES INST [US]; BOURN GARY D [US]; GINGRICH JESS W [US]) 13 April 2006 (2006-04-13) paragraphs [0026], [0027] -----	1-6,9,10
Y	DE 103 33 933 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 February 2005 (2005-02-24) cited in the application the whole document -----	1-6,9,10
A	WO 2010/070199 A1 (WAERTSILAE FINLAND OY [FI]; ANDERSSON LENNART [SE]; HARALDSON LENNART) 24 June 2010 (2010-06-24) claim 1 -----	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 July 2012

Date of mailing of the international search report

20/07/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Röttger, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/001491

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006039452 A2	13-04-2006	US 2006107925 A1 WO 2006039452 A2	25-05-2006 13-04-2006
DE 10333933 A1	24-02-2005	NONE	
WO 2010070199 A1	24-06-2010	EP 2370682 A1 WO 2010070199 A1	05-10-2011 24-06-2010

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/001491

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F02D41/00 F02D41/40 F02D41/14
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F02D

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2006/039452 A2 (SOUTHWEST RES INST [US]; BOURN GARY D [US]; GINGRICH JESS W [US]) 13. April 2006 (2006-04-13) Absätze [0026], [0027] -----	1-6,9,10
Y	DE 103 33 933 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Februar 2005 (2005-02-24) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-6,9,10
A	WO 2010/070199 A1 (WAERTSILAE FINLAND OY [FI]; ANDERSSON LENNART [SE]; HARALDSON LENNART) 24. Juni 2010 (2010-06-24) Anspruch 1 -----	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Juli 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/07/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Röttger, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/001491

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
WO 2006039452	A2	13-04-2006	US	2006107925 A1		25-05-2006	
			WO	2006039452 A2		13-04-2006	

DE 10333933	A1	24-02-2005	KEINE				

WO 2010070199	A1	24-06-2010	EP	2370682 A1		05-10-2011	
			WO	2010070199 A1		24-06-2010	
