

(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
16. März 2006 (16.03.2006)

PCT

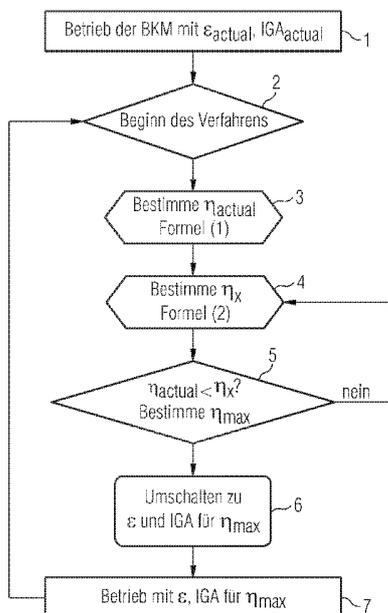
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/027315 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 15/04 (2006.01) *F02P 5/04* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/054123
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. August 2005 (23.08.2005)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2004 043 527.8
8. September 2004 (08.09.2004) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). SIEMENS VDO AUTOMOTIVE S.A.S [FR/FR]; 1, Avenue Paul Ourliac, F-31100 Toulouse (FR).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZHANG, Hong [DE/DE]; Spitzweg Strasse 16, 93105 Tegernheim (DE). GALTIER, Frédéric [FR/FR]; F59, Avenue de la Colline, F-34070 Montpellier (FR).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE COMPRESSION RATIO OF A SPARK-IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINE HAVING DISCRETELY ADJUSTABLE COMPRESSION RATIOS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM STEuern DES VERDICHTUNGSVERHÄLTNISSES EINER FREMDGEZÜNDETEN BRENNKRAFTMASCHINE MIT DISKRET EINSTELLBAREN VERDICHTUNGSVERHÄLTNISSEN



- 1 ... OPERATION OF THE BKM WITH ϵ_{ACTUAL} , IGA_{ACTUAL}
- 2 ... START OF METHOD
- 3 ... DETERMINING η_{ACTUAL} FORMULA (1)
- 4 ... DETERMINING η_X FORMULA (2)
- 5 ... $\eta_{ACTUAL} < \eta_X$? DETERMINE η_{MAX}
NEIN NO
- 6 ... SWITCH OVER TO ϵ AND IGA FOR η_{MAX}
- 7 ... OPERATION WITH ϵ , IGA FOR η_{MAX}

(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating the compression ratio of a spark-ignition internal combustion engine having discretely adjustable compression ratios. According to the invention, a current global combustion degree of efficiency is determined from the degree of efficiency for the current compression ratio and the degree of efficiency for the current ignition angle and said global combustion degree of efficiency is compared to the alternative global combustion degree of efficiency for the other possible compression ratios with a respective optimal ignition angle, in order to determine the maximum global combustion degree of efficiency in the related operational conditions.

(57) Zusammenfassung: Bei diesem Verfahren wird ein aktueller globaler Verbrennungswirkungsgrad aus dem Wirkungsgrad für das aktuelle Verdichtungsverhältnis und dem Wirkungsgrad für den aktuellen Zündwinkel ermittelt und dieser globale Verbrennungswirkungsgrad mit den alternativen globalen Verbrennungswirkungsgraden für die anderen möglichen Verdichtungsverhältnisse bei jeweils optimalem Zündwinkel verglichen, um auf diese Weise den größtmöglichen globalen Verbrennungswirkungsgrad bei den betreffenden Betriebsbedingungen zu bestimmen.

WO 2006/027315 A1



SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

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

(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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Verfahren zum Steuern des Verdichtungsverhältnisses einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit diskret einstellbaren
5 Verdichtungsverhältnissen

Brennkraftmaschinen, insbesondere Hubkolbenmaschinen, mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis sind seit längerer Zeit bekannt. Änderungen des Verdichtungsverhältnisses, bei dem es
10 sich um das Verhältnis zwischen den Volumina des Brennraumes im oberen und unteren Totpunkt des Kolbens handelt, lassen sich z.B. durch Änderungen des Kolbenhubes erzielen. Es sind Brennkraftmaschinen mit kontinuierlich veränderbarem Verdichtungsverhältnis und Brennkraftmaschinen mit diskret veränderbarem Verdichtungsverhältnis bekannt. Das Verfahren gemäß der
15 vorliegenden Erfindung bezieht sich auf Brennkraftmaschinen mit diskret einstellbaren Verdichtungsverhältnissen.

Bei derartigen Brennkraftmaschinen wird das Verdichtungsverhältnis geändert, um es an Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine anzupassen. Eine Änderung des Verdichtungsverhältnisses der Brennkraftmaschine beeinflusst bekanntlich den Verlauf des Verbrennungsdrucks über seine Auswirkung auf die Gemiscentflammung (Zündverzögerung und Brenngeschwindigkeit). Auch der Druck im Brennraum vor der Verbrennung wird
25 naturgemäß durch das Verdichtungsverhältnis beeinflusst. Da das Klopfverhalten einer Brennkraftmaschine unmittelbar mit dem Druck im Brennraum verknüpft ist, hat eine Änderung des Verdichtungsverhältnisses auch einen Einfluss auf das Klopfverhalten.
30

Andererseits gibt es für jeden Wert des Verdichtungsverhältnisses einen (von weiteren Betriebsparametern abhängigen) op-

timalen Zündzeitpunkt für eine bestmögliche Gemischverbrennung. Allerdings liegt dieser optimale Zündzeitpunkt (Zündwinkel) meist im potentiellen Klopfbereich, so dass es im allgemeinen nicht möglich ist, die Brennkraftmaschine mit optimalen Zündwinkel zu betreiben. Der Zündzeitpunkt muss daher in Richtung auf eine spätere Zündung zu der so genannten Klopfgrenze verschoben werden, um die Brennkraftmaschine gegen eine klopfende Verbrennung zu schützen.

10 Die Klopfgrenze wiederum hängt von dem Betriebspunkt und dem Verdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine ab: Je höher das Verdichtungsverhältnis ist, desto besser ist das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine, umso größer ist aber auch die Gefahr des Klopfens. Je niedriger das Verdichtungsverhältnis ist, desto geringer ist die Gefahr des Klopfens, umso schlechter ist jedoch auch das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine.

Bei Brennkraftmaschinen mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis wird das Verdichtungsverhältnis normalerweise für alle Betriebspunkte der Brennkraftmaschine im Hinblick auf einen möglichst guten Wirkungsgrad und einen möglichst niedrigen Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine gewählt. Grundsätzlich wird hierbei so vorgegangen, dass bei niedriger Last der Brennkraftmaschine (bei der der volumetrische Wirkungsgrad gering und die Klopfgrenze vom optimalen Zündzeitpunkt weit entfernt ist) ein vergleichsweise hoher Wert für das Verdichtungsverhältnis gewählt wird, um den Gesamtwirkungsgrad der Brennkraftmaschine zu verbessern. Bei hoher Last dagegen (bei der der volumetrische Wirkungsgrad von Hause aus groß ist und die Klopfgrenze nahe am optimalen Zündzeitpunkt oder sogar dahinter liegt) wird ein vergleichsweise

niedriger Wert des Verdichtungsverhältnisses gewählt, um die Brennkraftmaschine gegen Klopfen zu schützen.

Wie aus den vorstehenden Überlegungen deutlich wird, haben
5 sowohl das Verdichtungsverhältnis wie auch der Zündzeitpunkt
einen Einfluss auf den Wirkungsgrad wie auch das Klopfverhalten
der Brennkraftmaschine. Wünschenswert wäre, die Brennkraftmaschine
mit einem möglichst hohen Verdichtungsverhältnis und einem optimalen
Zündwinkel zu betreiben. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, dass es zu
10 einem Klopfen der Brennkraftmaschine kommt, was den Wirkungsgrad der
Verbrennung verringert und insbesondere die Brennkraftmaschine schädigen
kann. Ein Kompromiss bei der Wahl des Verdichtungsverhältnisses und
des Zündzeitpunktes ist daher unvermeidlich.

15 Bei der klassischen Klopfregelung erfolgt eine Klopfkorrektur
mittels einer Zündwinkelkorrektur. Genauer gesagt, werden mit Hilfe
von Klopfensensoren Klopfkennungssignale erzeugt, mit denen dann
der Zündwinkel so verstellt wird, dass Klopfen gerade vermieden
20 wird. Der Zündwinkel wird somit gewissermaßen an die Klopfgrenze
verlegt (siehe z.B. US 4 884 206, US 6 317 681 B2, EP 1 092 087 B1).
Wie bereits erwähnt, führt dies jedoch meist zu einer Verringerung
des Wirkungsgrades der Gemischverbrennung und somit des erzielbaren
Drehmomentes. Um dennoch das erforderliche Drehmoment zu erzeugen,
25 ist es daher manchmal erforderlich, die Menge des eingespritzten
Kraftstoffes zu erhöhen, was sich ungünstig auf den Kraftstoffverbrauch
und die Schadstoffemissionen auswirkt. Außerdem ist es manchmal
bei starken Klopferscheinungen und somit sehr großen Zündwinkelver-
30 stellungen notwendig, das Kraftstoffgemisch anzufetten, um zu hohe
Betriebstemperaturen der Brennkraftmaschine bzw. Abgastemperaturen
zu vermeiden. Die herkömmliche Klopfregelung ist daher zum Vermeiden
von Klopf-

fen äußerst wirksam, hat jedoch einige Nachteile im Hinblick auf das Betriebsverhalten und den Kraftstoffverbrauch der Brennkraftmaschine.

5 Aus der DE 199 50 682 A1 ist ein Verfahren zum Regeln des Verdichtungsverhältnisses einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem mittels eines Klopfensors ein zu hohes Verdichtungsverhältnis ermittelt wird, um daraufhin das Verdichtungsverhältnis unter die Klopfgrenze zu verringern und anschließend
10 wieder zu erhöhen.

Aus der DE 102 20 596 B3 ist ein Verfahren zum Regeln des Verdichtungsverhältnisses einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem das Verdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer
15 Klopferkennungsinformation in einer geschlossenen Regelschleife so geregelt wird, dass Klopfen gerade vermieden wird.

Grundsätzlich ist anzustreben, dass die Brennkraftmaschine in
20 jedem Betriebspunkt mit seinem bestmöglichen Zündwinkel (Verbrennungswirkungsgrad und Betriebsverhalten) und seinem bestmöglichen Verdichtungsverhältnis (Betriebsverhalten bei Vermeidung von Klopfen) betrieben wird.

25 Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Steuern des Verdichtungsverhältnisses einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit diskret einstellbaren Verdichtungsverhältnissen anzugeben, das es in relativ einfacher Weise erlaubt, die Brennkraftmaschine in jedem Betriebspunkt mit dem bestmöglichen Zündwinkel und dem bestmöglichen
30 Verdichtungsverhältnis zu betreiben.

Das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ist in Anspruch 1 definiert.

Bei einer Brennkraftmaschine mit einer elektronischen Motorsteuerung auf Drehmomentbasis sind die Wirkungsgrade der Betriebsparameter, insbesondere die des Zündwinkels, des Luftmassenstroms, des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses λ und gegebenenfalls eines Faktors für die Abschaltung eines oder mehrerer Zylinder die üblichen Größen zum Bestimmen des aktuellen Drehmomentes der Brennkraftmaschine. Bei einer Brennkraftmaschine mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis lässt sich außerdem ein entsprechender Wirkungsgrad für das Verdichtungsverhältnis definieren, und zwar in Form des Verhältnisses von dem aktuellen Drehmoment, das die Brennkraftmaschine bei dem aktuellen Verdichtungsverhältnis erzeugt, zu dem maximal erreichbaren Drehmoment, das sich ergibt, wenn sämtliche Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ihre bestmöglichen Werte haben.

Die vorliegende Erfindung geht nun von der Erkenntnis aus, dass sich mit Hilfe des Zündwinkel-Wirkungsgrades und des Verdichtungsverhältnis-Wirkungsgrades ein globaler Verbrennungswirkungsgrad bestimmen lässt, mit dessen Hilfe dann das für einen bestimmten Betriebspunkt optimale Verdichtungsverhältnis ausgewählt werden kann.

Genauer gesagt, wird bei dem Verfahren der Erfindung während des Betriebs der Brennkraftmaschine mit diskret einstellbaren Verdichtungsverhältnissen

ein aktueller globaler Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} für ein aktuelles Verdichtungsverhältnis σ_{actual} und einen aktuellen Zündwinkel IGA_{actual} mit der folgenden Formel berechnet:

$$\eta_{actual} = \eta_{\varepsilon_{actual}} \cdot \eta_{IGA_{actual}} \quad (1)$$

worin η_{ε} der vom Verdichtungsverhältnis ε abhängige Wirkungsgrad und η_{IGA} der vom Zündwinkel abhängige Wirkungsgrad ist,

alternative globale Verbrennungswirkungsgrade η_x für die anderen möglichen Verdichtungsverhältnisse ε_x bei optimalem Zündwinkel $IGA_{best\ x}$ für das betreffende Verdichtungsverhältnis ε_x mit der folgenden Formel berechnet:

$$\eta_x = \eta_{\varepsilon_x} \cdot \eta_{IGA_{best\ x}} \quad (2)$$

der aktuelle globale Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} mit den alternativen globalen Verbrennungswirkungsgraden η_x verglichen, um den größtmöglichen globalen Verbrennungswirkungsgrad zu bestimmen,

und dann der Betrieb der Brennkraftmaschine mit dem Verdichtungsverhältnis für den größtmöglichen Verbrennungswirkungsgrad fortgeführt.

Die verwendeten Größen η_{ε} und η_{IGA} lassen sich im einfachsten Fall wie folgt bestimmen:

$$\begin{aligned} \eta_{\varepsilon} &= TQ(\sigma) / TQ_{ref} \\ \eta_{IGA} &= TQ(IGA) / TQ_{ref} \end{aligned}$$

worin

$$\begin{aligned} TQ(\varepsilon) &= \text{Drehmoment abhängig vom Verdichtungsverhältnis } \varepsilon \\ TQ(IGA) &= \text{Drehmoment abhängig vom Zündwinkel } IGA \end{aligned}$$

$T_{Q_{ref}}$ = maximal erreichbares Drehmoment bei optimal eingestellten Betriebsparametern der Brennkraftmaschine.

5 Ergibt der obige Vergleich, dass das aktuelle Verdichtungsverhältnis die besten Ergebnisse liefert, so wird der Betrieb der Brennkraftmaschine mit dem bisherigen Verdichtungsverhältnis weitergeführt. Ergibt der Vergleich dagegen, dass eines der nicht eingestellten anderen Verdichtungsverhältnisse
10 zu einem besseren Wirkungsgrad führt, so wird der Betrieb der Brennkraftmaschine auf dieses andere Verdichtungsverhältnis umgestellt, wobei je nach dem Ergebnis des Vergleiches das Verdichtungsverhältnis auf einen höheren oder auch auf einen niedrigeren Wert umgestellt werden kann.

15

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet eine einfache Möglichkeit,

20 - den Zeitpunkt zum Umschalten des Verdichtungsverhältnisses zu bestimmen,

- den bestmöglichen Zündwinkel unter den gegebenen Betriebsbedingungen sicherzustellen,

25 - einen optimalen Gesamtwirkungsgrad der Brennkraftmaschine bei optimaler Steuerung des Verdichtungsverhältnisses und Zündwinkels während der gesamten Betriebsdauer sicherzustellen,

30 - einen weichen Übergang im Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine beim Umschalten des Verdichtungsverhältnisses sicherzustellen.

Die Verwendung der obigen Formeln bei einer detaillierteren und verfeinerten Prozessanalyse kann dabei mithelfen, den korrekten Zeitpunkt zum Umschalten des Verdichtungsverhältnisses wie auch den Zeitpunkt der Umschaltung des Zündwinkels zu steuern, um eine drehmomentneutrale Umschaltung der Brennkraftmaschine sicherzustellen.

Eine einfache Verbesserung des oben definierten Verfahrens gemäß der Erfindung besteht darin, dass die Formeln (1) und (2) wie folgt modifiziert werden:

$$\eta_{\text{actual}} = \eta_{\epsilon \text{ actual}} \cdot \eta_{\text{IGA}_{\text{actual}}} \cdot \eta_{\text{P}_{\text{actual}}} \quad (1')$$

$$\eta_x = \eta_{\epsilon_x} \cdot \eta_{\text{IGA}_{\text{best}_x}} \cdot \eta_{\text{P}_x} \quad (2')$$

worin η_{P} der Wirkungsgrad eines weiteren Betriebsparameters oder das Produkt aus den Wirkungsgraden weiterer Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ist.

Als Wirkungsgrad eines weiteren Betriebsparameters kommt insbesondere der λ -Wirkungsgrad in Frage, so dass bei der Berechnung des globalen Verbrennungswirkungsgrades eine möglicherweise vorgesehene Anreicherung des Luft/Kraftstoffgemisches berücksichtigt wird. Auch kann ein Wirkungsgrad für eine eventuelle Abschaltung eines oder mehrerer Zylinder berücksichtigt werden.

Anhand der Zeichnungen werden weitere Einzelheiten des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert. Es zeigt:

Figur 1 ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 2 ein Kennfeld des maximal erreichbaren Drehmomentes T_{Qref} ;

Figur 3 den Zusammenhang zwischen dem Zündwinkel-
5 Wirkungsgrad und dem Zündwinkel.

Ausgegangen wird von einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine, mit einer Motorsteuerung auf Drehmomentbasis. Da derartige Motorsteuerungen (EMS = Engine Management System) heute
10 gängiger Stand der Technik ist, wird hierauf nicht weiter eingegangen. Die Brennkraftmaschine ist ferner mit einer Einrichtung zum diskreten Verstellen des Verdichtungsverhältnisses versehen. Beispielsweise kann diese Einrichtung drei oder vier verschiedene Verdichtungsverhältnisse einstellen.

15

Es sei angenommen, dass die Brennkraftmaschine mit einem eingestellten aktuellen Verdichtungsverhältnis ε_{actual} und einem aktuellen Zündwinkel $\eta_{IGA_{actual}}$ in Betrieb ist (Block 1 in Fig. 1). Mit dem nun zu beschreibenden Verfahren wird während
20 des Betriebs der Brennkraftmaschine geprüft, ob ein anderes in der Brennkraftmaschine einstellbares Verdichtungsverhältnis ε_x zu einem besseren Verbrennungswirkungsgrad führt.

Zu diesem Zweck wird nach dem Beginn des Verfahrens (Block 2)
25 der aktuelle globale Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} mit Hilfe der oben angegebenen Formel (1) bestimmt (Block 3). Bei einer Motorsteuerung auf Drehmomentbasis stehen die hierfür erforderlichen Wirkungsgrade η_ε und η_{IGA} ohne weiteres zur Verfügung.

30

Der Wirkungsgrad η_ε ist definiert durch

$$\eta_\varepsilon = TQ(\varepsilon)/TQ_{ref}$$

Hierbei lässt sich $TQ(\varepsilon)$ bestimmen aus:

$$TQ(\varepsilon) = \eta_{IGA} \cdot \eta_{\lambda} \cdot \eta_{SCC} \cdot TQ_{ref}$$

5

Hierin bedeuten η_{IGA} den Zündwinkel, η_{λ} den λ -Wirkungsgrad und η_{SCC} einen Faktor (zwischen 0 und 1), der die Abschaltung eines oder mehrerer der Zylinder berücksichtigt.

10 TQ_{ref} ist das größtmögliche Drehmoment, das bei optimaler Einstellung sämtlicher Betriebsparameter der Brennkraftmaschine erreicht werden kann. Es ist üblicherweise in einem Kennfeld abgelegt, das über der Drehzahl N und der Last L aufgetragen ist; ein Beispiel hierfür zeigt Fig. 2.

15

Der Zündwinkel-Wirkungsgrad η_{IGA} ist im einfachsten Fall bestimmt durch

$$\eta_{IGA} = TQ(IGA) / TQ_{ref}$$

20

wobei es jedoch auch komplexere Möglichkeiten zum Bestimmen von η_{IGA} gibt.

25 Der Wirkungsgrad η_{IGA} ist üblicherweise in einem Kennfeld abgelegt, das ebenfalls über der Drehzahl N und der Last L aufgespannt ist. Ein Beispiel für den Zusammenhang zwischen dem Zündwinkel-Wirkungsgrad η_{IGA} und dem Zündwinkel IGA ist in Fig. 3 dargestellt.

30 In einem nächsten Schritt (Block 4) wird der globale Verbrennungswirkungsgrad η_x für die anderen einstellbaren Verdichtungsverhältnisse mit der oben angegebenen Formel (2) ermittelt. Zu beachten ist, dass die Formel (2) jeweils den Zünd-

winkel-Wirkungsgrad $\eta_{IGA_{best}}$ für den bestmöglichen Zündwinkel bei dem jeweiligen Verdichtungsverhältnis verwendet. Der aktuelle Zündwinkel IGA_{actual} , der bei der Bestimmung des Zündwinkel-Wirkungsgrades in der Formel (1) verwendet wird, ist
5 möglicherweise nicht identisch mit dem bestmöglichen Zündwinkel für das aktuelle Verdichtungsverhältnis; beispielsweise kann der aktuelle Zündzeitpunkt gegenüber dem bestmöglichen Zündzeitpunkt zurückversetzt sein, um Klopfen der Brennkraftmaschine zu vermeiden.

10

Der aktuelle globale Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} wird nun mit jedem der globalen Verbrennungswirkungsgrade η_x für die anderen möglichen Verdichtungsverhältnisse verglichen (Block 5). Dieser Vorgang wird in einer Iterationsschleife durchgeführt, wie in dem Flussdiagramm der Fig. 1 schematisch ange-
15 deutet ist.

Wenn bei diesem Vorgang festgestellt wird, dass der aktuelle globale Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} der bestmögliche Wirk-
20 kungsgrad ist, wird die Brennkraftmaschine mit dem aktuellen Verdichtungsverhältnis ϵ_{actual} und dem aktuellen Zündwinkel IGA_{actual} weiter betrieben. Stellt sich jedoch bei dem Vergleich heraus, dass ein η_x für ein anderes Verdichtungsverhältnis zu einem höheren globalen Verbrennungswirkungsgrad
25 führt, so wird auf einen Betrieb der Brennkraftmaschine mit dem Verdichtungsverhältnis ϵ_x und Zündwinkel IGA_x für diesen optimalen Verbrennungswirkungsgrad umgeschaltet (Block 6). Die Brennkraftmaschine läuft dann mit dem neu eingestellten Verdichtungsverhältnis und Zündwinkel (Block 7).

30

Das Verfahren zum Steuern des Verdichtungsverhältnisses kann dann wieder erneut beginnen (Block 2).

Wie bereits eingangs erläutert, kann das beschriebene Verfahren in der Weise verfeinert werden, dass bei der Berechnung des globalen Verbrennungswirkungsgrades (Blöcke 3 und 4) Wirkungsgrade weiterer Betriebsparameter berücksichtigt werden.

- 5 In Frage kommt in erster Linie der λ -Wirkungsgrad η_λ , durch den eine möglicherweise vorgesehene Anreicherung des Luftkraftstoffgemischs berücksichtigt wird.

Das beschriebene Verfahren bietet eine einfache und effiziente Möglichkeit zum Steuern der Betriebsparameter sowie der Umschaltzeit und -richtung des Verdichtungsverhältnisses einer Brennkraftmaschine mit diskret einstellbaren Verdichtungsverhältnissen. Die Brennkraftmaschine kann daher jederzeit mit dem bestmöglichen globalen Verbrennungswirkungsgrad durch Einstellen des Verdichtungsverhältnisses bei Berücksichtigung des Einflusses der anderen relevanten Verbrennungsparameter betrieben werden, was entsprechend positive Auswirkungen auf die Verbrennung, das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine wie auch auf den Kraftstoffverbrauch hat.

20

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Verdichtungsverhältnisses einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit diskret einstellbaren
5 Verdichtungsverhältnissen, die eine Motorsteuerung auf Drehmomentbasis umfasst, bei welchem Verfahren während des Betriebs der Brennkraftmaschine

ein aktueller globaler Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} für ein
10 aktuelles Verdichtungsverhältnis $\varepsilon_{\text{actual}}$ und einen aktuellen Zündwinkel $\text{IGA}_{\text{actual}}$ mit der folgenden Formel berechnet wird:

$$\eta_{\text{actual}} = \eta_{\varepsilon_{\text{actual}}} \cdot \eta_{\text{IGA}_{\text{actual}}} \quad (1)$$

15 worin η_{ε} der vom Verdichtungsverhältnis ε abhängige Wirkungsgrad und η_{IGA} der vom Zündwinkel abhängige Wirkungsgrad ist,

alternative globale Verbrennungswirkungsgrade η_x für die an-
20 deren möglichen Verdichtungsverhältnisse ε_x bei optimalem Zündwinkel $\text{IGA}_{\text{best } x}$ für das betreffende Verdichtungsverhältnis ε_x mit der folgenden Formel berechnet wird:

$$\eta_x = \eta_{\varepsilon_x} \cdot \eta_{\text{IGA}_{\text{best } x}} \quad (2)$$

25 der aktuelle globale Verbrennungswirkungsgrad η_{actual} mit den alternativen globalen Verbrennungswirkungsgraden η_x verglichen wird, um den größtmöglichen globalen Verbrennungswirkungsgrad zu bestimmen,

30 und dann der Betrieb der Brennkraftmaschine mit dem Verdichtungsverhältnis für den größtmöglichen Verbrennungswirkungsgrad fortgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der vom Verdichtungsverhältnis abhängige Wirkungsgrad η_{ε} und der vom Zündwinkel abhängige Wirkungsgrad η_{IGA} wie folgt
5 bestimmen werden:

$$\begin{aligned}\eta_{\varepsilon} &= TQ(\varepsilon)/TQ_{ref} \\ \eta_{IGA} &= TQ(IGA)/TQ_{ref},\end{aligned}$$

10 worin

$TQ(\varepsilon)$ = Drehmoment abhängig vom Verdichtungsverhältnis ε
 $TQ(IGA)$ = Drehmoment abhängig vom Zündwinkel IGA
 15 TQ_{ref} = maximal erreichbares Drehmoment bei optimal eingestellten Betriebsparametern der Brennkraftmaschine.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
 20 dass der vom Zündwinkel IGA abhängige Wirkungsgrad η_{IGA} einem über Drehzahl und Last aufgespannten Kennfeld entnommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet,
 25 dass das maximal erreichbare Drehmoment TQ_{ref} einem über Drehzahl und Last aufgespannten Kennfeld entnommen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das vom Verdichtungsverhältnis ε abhängige
 30 Drehmoment $TQ(\varepsilon)$ wie folgt ermittelt wird:

$$TQ(\varepsilon) = \eta_{IGA} \cdot \eta_{\lambda} \cdot \eta_{SCC} \cdot TQ_{ref} \quad (3)$$

worin η_λ der einem Kennfeld entnommene Wirkungsgrad für das Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ bei einer Gemischanfettung und η_{SCC} ein Maß für eine Verringerung des Drehmomentes bei Abschaltung einer oder mehrerer Zylinder ist.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Formeln (1) und (2) wie folgt modifiziert werden:

$$10 \quad \eta_{\text{actual}} = \eta_{\text{actual}} \cdot \epsilon_{\text{actual}} \cdot \eta_{IGA_{\text{actual}}} \cdot \eta_{P_{\text{actual}}} \quad (1')$$

$$\eta_x = \eta_{\text{actual}} \cdot \epsilon_x \cdot \eta_{IGA_{\text{best } x}} \cdot \eta_{P_x} \quad (2')$$

worin η_P der Wirkungsgrad eines weiteren Betriebsparameters oder das Produkt aus den Wirkungsgraden weiterer Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ist.

15

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass η_P den vom Luft/Kraftstoff-Verhältnis λ abhängigen Wirkungsgrad η_λ bei einer Gemischanfettung umfasst.

20

8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Wirkungsgrad η_P den Wirkungsgrad η_{SCC} umfasst, der ein Maß für die Drehmomentverringerung aufgrund der Abschaltung eines oder mehrerer Zylinder ist.

25

FIG 1

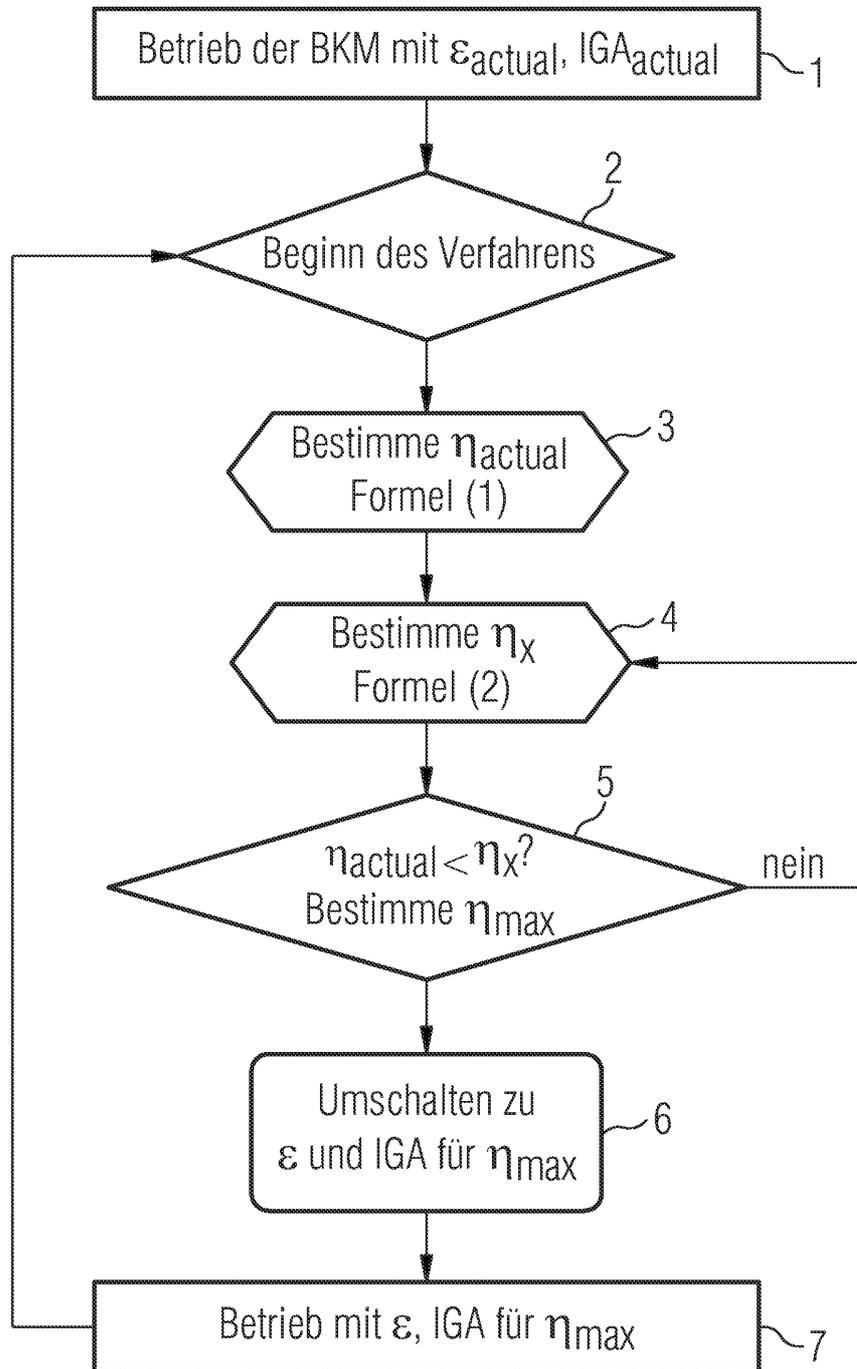


FIG 2

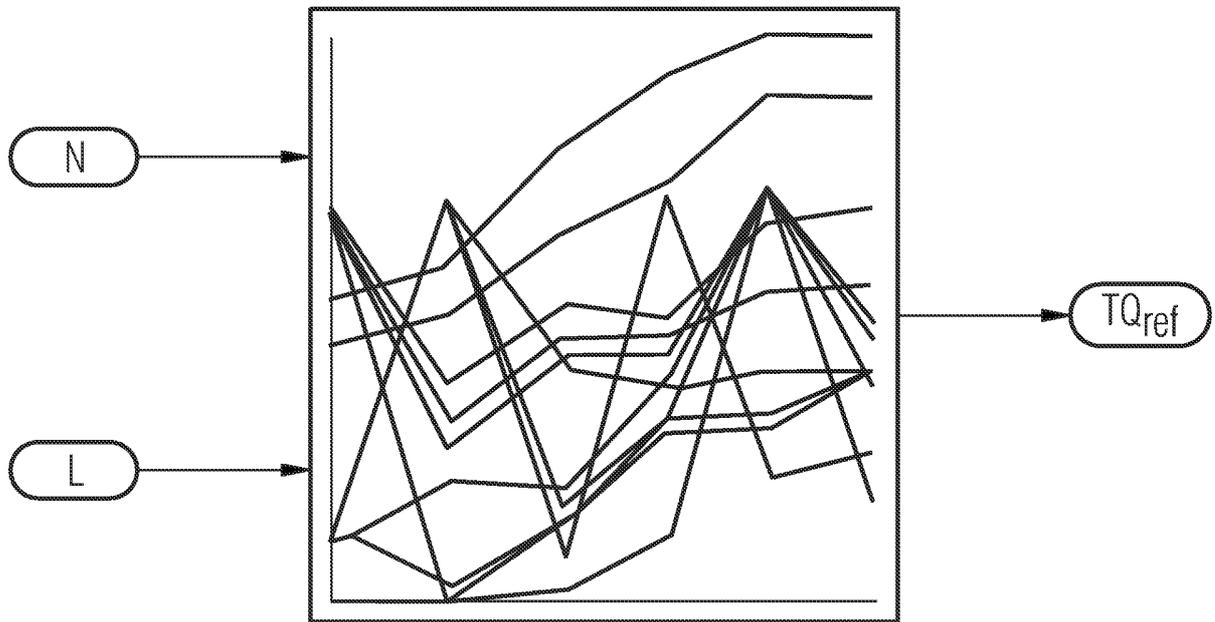
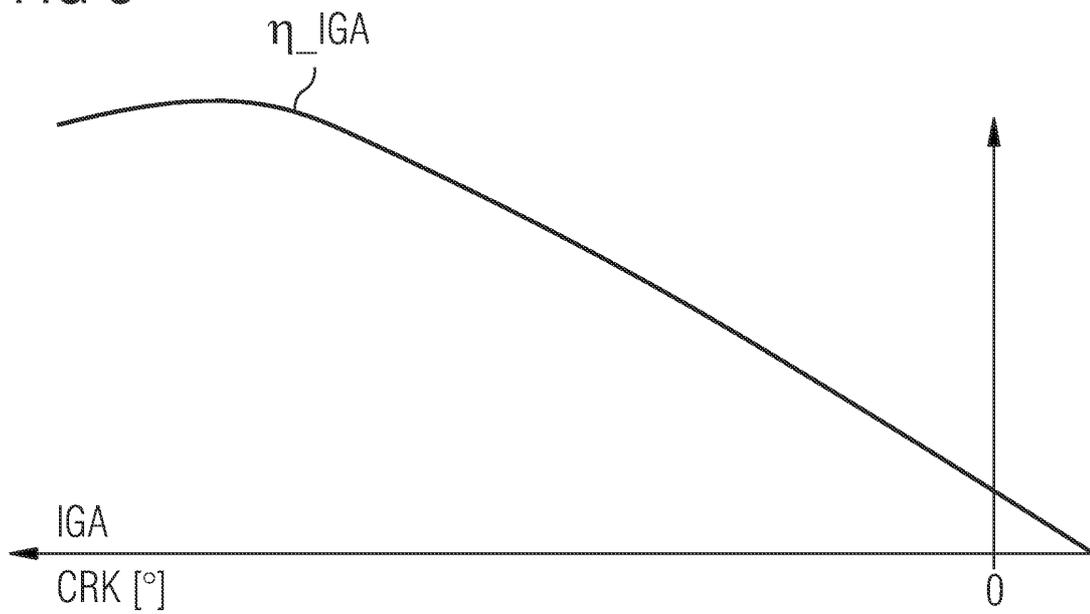


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/054123

| | | | | |
|---|--|---|---|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F02D15/04 F02P5/04 | | | | |
| 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 F02P | | | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ | | | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | | | |
| Category ^o | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. | | |
| X | DE 100 42 381 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 28 March 2002 (2002-03-28) abstract; claims 1,4-8; figures 1-3 paragraphs '0005! - '0007!, '0014! - '0025! ----- | 1-4,6-8 | | |
| X | US 4 860 711 A (MORIKAWA ET AL) 29 August 1989 (1989-08-29) abstract; claim 1; figure 4 column 5, line 39 - column 6, line 26 ----- | 1,2 | | |
| X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2003, no. 12, 5 December 2003 (2003-12-05) & JP 2004 044433 A (TOYOTA MOTOR CORP), 12 February 2004 (2004-02-12) abstract ----- -/-- | 1 | | |
| <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.</td> </tr> </table> | | | <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. | <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. | <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. | | | |
| ^o Special categories of cited documents : | | | | |
| <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; border: none;"> ** 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 </td> </tr> </table> | | | *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | ** 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 |
| *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | ** 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 <p style="text-align: center;">1 December 2005</p> | | Date of mailing of the international search report <p style="text-align: center;">09/12/2005</p> | | |
| Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2260 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 | | Authorized officer <p style="text-align: center;">Van der Staay, F</p> | | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/054123

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|--|-----------------------|
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | DE 102 38 060 A1 (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 3 April 2003 (2003-04-03) abstract; claims 1-3; figure 4 paragraphs '0028! - '0031! ----- | 1-8 |
| A | DE 102 20 596 B3 (SIEMENS AG) 22 January 2004 (2004-01-22) cited in the application abstract; claims 1-3; figure 3 ----- | 1 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/054123

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|----|------------------|---|--|
| DE 10042381 | A1 | 28-03-2002 | WO 0218757 A1 EP 1315889 A1 JP 2004507651 T US 2004025818 A1 | 07-03-2002 04-06-2003 11-03-2004 12-02-2004 |
| US 4860711 | A | 29-08-1989 | DE 3833323 A1 GB 2210930 A JP 1100328 A | 20-04-1989 21-06-1989 18-04-1989 |
| JP 2004044433 | A | 12-02-2004 | NONE | |
| DE 10238060 | A1 | 03-04-2003 | GB 2381598 A US 2003041837 A1 | 07-05-2003 06-03-2003 |
| DE 10220596 | B3 | 22-01-2004 | NONE | |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/054123

| | | |
|---|---|---|
| A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES F02D15/04 F02P5/04 | | |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK | | |
| B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02D F02P | | |
| 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, PAJ | | |
| C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | DE 100 42 381 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 28. März 2002 (2002-03-28) Zusammenfassung; Ansprüche 1,4-8; Abbildungen 1-3 Absätze '0005! - '0007!, '0014! - '0025! ----- | 1-4, 6-8 |
| X | US 4 860 711 A (MORIKAWA ET AL) 29. August 1989 (1989-08-29) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 4 Spalte 5, Zeile 39 - Spalte 6, Zeile 26 ----- | 1, 2 |
| X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2003, Nr. 12, 5. Dezember 2003 (2003-12-05) & JP 2004 044433 A (TOYOTA MOTOR CORP), 12. Februar 2004 (2004-02-12) Zusammenfassung ----- -/-- | 1 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie | | |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist | | |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 1. Dezember 2005 | | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 09/12/2005 |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 | | Bevollmächtigter Bediensteter Van der Staay, F |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/054123

| C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|--|---|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| A | DE 102 38 060 A1 (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 3. April 2003 (2003-04-03) Zusammenfassung; Ansprüche 1-3; Abbildung 4 Absätze '0028! - '0031! ----- | 1-8 |
| A | DE 102 20 596 B3 (SIEMENS AG) 22. Januar 2004 (2004-01-22) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Ansprüche 1-3; Abbildung 3 ----- | 1 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/054123

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|---|--|
| DE 10042381 A1 | 28-03-2002 | WO 0218757 A1 EP 1315889 A1 JP 2004507651 T US 2004025818 A1 | 07-03-2002 04-06-2003 11-03-2004 12-02-2004 |
| US 4860711 A | 29-08-1989 | DE 3833323 A1 GB 2210930 A JP 1100328 A | 20-04-1989 21-06-1989 18-04-1989 |
| JP 2004044433 A | 12-02-2004 | KEINE | |
| DE 10238060 A1 | 03-04-2003 | GB 2381598 A US 2003041837 A1 | 07-05-2003 06-03-2003 |
| DE 10220596 B3 | 22-01-2004 | KEINE | |