

(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  
31. Juli 2014 (31.07.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2014/114442 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
F02D 41/04 (2006.01) F02D 41/14 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/000146
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
21. Januar 2014 (21.01.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102013001043.8 22. Januar 2013 (22.01.2013) DE
- (71) Anmelder: AUDI AG [DE/DE]; 85045 Ingolstadt (DE).
- (72) Erfinder: AZADEH, Reza; Hintere Keilbergstr. 46B, 93055 Regensburg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH A VARIABLE COMPRESSION RATIO

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STEuern EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM VARIABLEN VERDICHTUNGSVERHÄLTNIS

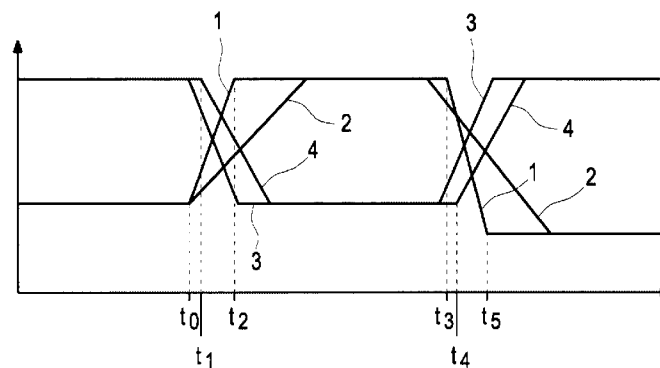


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine in which a compression ratio is set to a setpoint compression ratio by means of an adjustment device, wherein in a normal operating mode of the internal combustion engine the setpoint compression ratio is determined as a function of an operating variable of the internal combustion engine. There is provision here that the internal combustion engine is at least temporarily operated in a prediction operating mode in which the setpoint compression ratio is determined on the basis of an anticipated estimated operating variable which is estimated on the basis of the instantaneous gradient of the operating variable over time. The invention also relates to an internal combustion engine.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei welcher ein Verdichtungsverhältnis mittels einer Stelleinrichtung auf ein Sollverdichtungsverhältnis eingestellt wird, wobei in einer Normalbetriebsart der Brennkraftmaschine das Sollverdichtungsverhältnis

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/114442 A1

---

in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine bestimmt wird. Dabei ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine zumindest zeitweise in einer Prädiktionsbetriebsart betrieben wird, in welcher das Sollverdichtungsverhältnis anhand einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt wird, die auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Brennkraftmaschine.

## VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STEuern EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM VARIABLEN VERDICHTUNGSVERHÄLTNIS

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei welcher ein Verdichtungsverhältnis mittels einer Stelleinrichtung auf ein Sollverdichtungsverhältnis eingestellt wird, wobei in einer Normalbetriebsart der Brennkraftmaschine das Sollverdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine bestimmt wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Brennkraftmaschine.

Die Brennkraftmaschine dient beispielsweise dem Antreiben eines Kraftfahrzeugs. Die Brennkraftmaschine weist ein variables Verdichtungsverhältnis auf, wobei die Stelleinrichtung dazu dient, das vorgegebene Sollverdichtungsverhältnis an der Brennkraftmaschine einzustellen. Ändert sich also das Sollverdichtungsverhältnis, so wird das tatsächlich vorliegende Istverdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine mithilfe der Stelleinrichtung dem Sollverdichtungsverhältnis nachgeführt. Dabei erreicht die Stelleinrichtung jedoch lediglich eine begrenzte Stellgeschwindigkeit. Das Sollverdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine wird beispielsweise derart festgelegt, dass ein möglichst geringer Kraftstoffverbrauch erzielt wird. Dabei muss jedoch die Klopfgrenze des Kraftstoffs berücksichtigt werden. Bei einem geringen an der Brennkraftmaschine anliegenden Lastmoment wird daher ein größeres Sollverdichtungsverhältnis gewählt als bei einem höheren Lastmoment. Insbesondere wird das Sollverdichtungsverhältnis in einem Schubtrieb der Brennkraftmaschine, in welchem sie von einem externen Drehmoment mitgeschleppt wird, im Leerlauf und bei Teillast bis zu einem bestimmten Lastmoment auf ein maximales Verdichtungsverhältnis der Brennkraftmaschine eingestellt.

Wird das Lastmoment der Brennkraftmaschine, beispielsweise aufgrund einer Vorgabe eines Fahrers des Kraftfahrzeugs, vergrößert, so muss das tatsächlich vorliegende Verdichtungsverhältnis so schnell wie möglich verringert werden, um dieses Lastmoment bereitstellen zu können, ohne dass die Klopfgrenze des Kraftstoffs überschritten wird. Aufgrund der begrenzten Stellgeschwindigkeit kann beispielsweise bis zum Erreichen des nunmehr verringerten Sollverdichtungsverhältnisses durch das Istverdichtungsverhältnis der Zündwinkel derart eingestellt werden, dass die Klopfgrenze eingehalten wird, klopfender Betrieb der Brennkraftmaschine also vermieden wird. Dazu wird der Zündwinkel beispielsweise nach Spät verstellt. Wird dagegen das Lastmoment verkleinert, so soll das Verdichtungsverhältnis möglichst rasch vergrößert werden, um

den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Die Verstellung selbst ist jedoch aufgrund der begrenzten Stellgeschwindigkeit lediglich mit einem höheren Kraftstoffverbrauch zu realisieren.

Bei einem Wechsel des Betriebspunkts beziehungsweise einer Änderung des Lastmoments mit geringerer Geschwindigkeit ist dies unproblematisch, weil die Stellgeschwindigkeit der Stelleinrichtung ausreichend ist. Bei dynamischen Lastwechseln, also einer raschen Veränderung des Betriebspunkts beziehungsweise des Lastmoments, läuft dagegen das Istverdichtungsverhältnis dem Sollverdichtungsverhältnis weit hinterher. Insbesondere wird das Sollverdichtungsverhältnis erst nach Erreichen des neuen Betriebspunkts aus der Betriebsgröße der Brennkraftmaschine bestimmt und nachfolgend mittels der Stelleinrichtung eingestellt, sodass der zeitliche Versatz zwischen dem Istverdichtungsverhältnis und dem eigentlich optimalen Verdichtungsverhältnis sehr groß ist.

Aus dem Stand der Technik ist die Druckschrift EP 1 293 659 B1 bekannt. Diese beschreibt ein Steuerungssystem für eine Brennkraftmaschine, die eine Verdichtungsverhältnis-Steuerungsvorrichtung, eine Beschleunigungsparameter-Erlangungseinrichtung, eine Beschleunigungs-Bestimmungseinrichtung sowie eine Steuereinrichtung aufweist. Es ist nun vorgesehen, dass die Steuerungseinrichtung eine Verdichtungsverhältnis-Verminderungsgeschwindigkeit vermindert, mit der das Motorverdichtungsverhältnis während der Motorbeschleunigung vermindert wird, wenn der Motor in einem langsamen Beschleunigungszustand ist, im Vergleich zu einer Verdichtungsverhältnis-Verminderungsgeschwindigkeit, mit der das Verdichtungsverhältnis während der Motorbeschleunigung vermindert wird, wenn der Motor in einem schnellen Beschleunigungszustand ist. Zudem soll die Steuerungseinrichtung eine Verdichtungsverhältnis-Verminderungsstartzeit verzögern, bei der die Verminderung des Motorverdichtungsverhältnisses während der Motorbeschleunigung gestartet wird, wenn der Motor in einem langsamen Beschleunigungszustand ist, im Vergleich zu einer Verdichtungsverhältnis-Verminderungsstartzeit, bei der die Verminderung des Motorverdichtungsverhältnisses während der Beschleunigung gestartet wird, wenn der Motor in einem schnellen Beschleunigungszustand ist.

Weiterhin beschreiben die Druckschrift DE 102 20 598 B3 ein Verfahren zum Anpassen des Zündwinkels an das Verdichtungsverhältnis einer Brennkraftmaschine, die Druckschrift DE 10 2004 031 288 A1 eine Brennkraftmaschine mit variablem Verdichtungsverhältnis sowie ein Verfahren zu ihrem Betrieb und die Druckschrift DE 10 2011 017 181

A1 ein Verfahren zum Betreiben einer Steleinrichtung zum variablen Einstellen eines Verdichtungsverhältnisses einer Verbrennungskraftmaschine.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine vorzuschlagen, welches den eingangs genannten Nachteil nicht aufweist, sondern insbesondere auch bei einer raschen Veränderung des Betriebspunkts beziehungsweise des Lastmoments der Brennkraftmaschine eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs durch rasches Einstellen des Verdichtungsverhältnisses auf einen optimalen Wert ermöglicht.

Dies wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 erreicht. Dabei ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine zumindest zeitweise in einer Prädiktionsbetriebsart betrieben wird, in welcher das Sollverdichtungsverhältnis anhand einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt wird, die auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird. Im Gegensatz zu der Vorgehensweise in der Normalbetriebsart, welche beispielsweise bei konstanter Betriebsgröße oder lediglich langsamer Veränderung der Betriebsgröße herangezogen wird, wird nun also das Sollverdichtungsverhältnis nicht aus der momentanen Betriebsgröße, sondern vielmehr aus einem erwarteten Wert für die Betriebsgröße, nämlich der Schätzbetriebsgröße, ermittelt.

Diese Schätzbetriebsgröße wird beispielsweise anhand des momentanen Gradienten der Betriebsgröße abgeschätzt. Es wird also der zeitliche Verlauf der Betriebsgröße über der Zeit betrachtet und aus der Steigung dieses Verlaufs zum momentanen Zeitpunkt der erwartete Wert der Betriebsgröße berechnet. Dies erfolgt beispielsweise mittels einer mathematischen Beziehung der Art

$$M_{t+\Delta t} = M_t + dM_t/dt \cdot \Delta t,$$

wobei  $M_t$  die Betriebsgröße zum momentanen Zeitpunkt,  $dM_t/dt$  der Gradient der Betriebsgröße über der Zeit und  $\Delta t$  die Zeitspanne von dem momentanen Zeitpunkt bis zu einem zukünftigen Zeitpunkt ist. Aus diesen Größen ergibt sich die Schätzbetriebsgröße  $M_{t+\Delta t}$ , die in dem zukünftigen Zeitpunkt zu erwarten ist. Die Schätzbetriebsgröße wird also für einen Zeitpunkt abgeschätzt, der die bestimmte Zeitspanne  $\Delta t$  in der Zukunft liegt.

Anhand dieser Schätzbetriebsgröße wird nun analog zu der Vorgehensweise für die Betriebsgröße in der Normalbetriebsart das Sollverdichtungsverhältnis ermittelt. Beispielsweise wird zu diesem Zweck eine mathematische Beziehung, eine Tabelle oder ein Kennfeld verwendet, wobei in der Normalbetriebsart die Betriebsgröße und in der Prädiktionsbetriebsart die Schätzbetriebsgröße als Eingangsgröße dient, während das Sollverdichtungsverhältnis eine Ausgangsgröße darstellt. Die Betriebsgröße ist beispielsweise eine momentane Sollbetriebsgröße, welche an der Brennkraftmaschine eingestellt ist, oder eine Istbetriebsgröße, welche die Brennkraftmaschine momentan tatsächlich aufweist. Beispielsweise wird die Sollbetriebsgröße aus einer Vorgabebetriebsgröße bestimmt, welche sich wiederum aus einer Vorgabe des Fahrers und/oder einer Vorgabe einer Fahrerassistenzeinrichtung des Kraftfahrzeugs ergibt. Die Sollbetriebsgröße wird anschließend an der Brennkraftmaschine eingestellt, sodass sich die tatsächlich vorliegende Betriebsgröße, nämlich die Istbetriebsgröße, in Richtung der Sollbetriebsgröße ändert. Während die Sollbetriebsgröße also beispielsweise unmittelbar aus der Vorgabebetriebsgröße bestimmt wird, läuft die Istbetriebsgröße der Sollbetriebsgröße hinterher.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise wird bei dynamischen Vorgängen, also einem raschen Lastwechsel, welcher beispielsweise eine rasche Änderung des momentanen Lastmoments der Brennkraftmaschine zur Folge hat, das Sollverdichtungsverhältnis prädiktiv bestimmt, sodass die Stelleinrichtung bereits angesteuert werden kann, auch wenn die Brennkraftmaschine noch nicht in dem neuen Betriebspunkt vorliegt. In der Normalbetriebsart wird dagegen üblicherweise das Sollverdichtungsverhältnis erst dann aus der Betriebsgröße bestimmt, wenn die Brennkraftmaschine in dem neuen Betriebspunkt vorliegt. Mithin laufen das Sollverdichtungsverhältnis und entsprechend auch das tatsächlich vorliegende Istverdichtungsverhältnis der Betriebsgröße der Brennkraftmaschine stets hinterher. Dies wird durch das Betreiben der Brennkraftmaschine in der Prädiktionsbetriebsart zumindest teilweise verhindert.

In einer weiteren Ausbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Prädiktionsbetriebsart bei einem Überschreiten eines Schwellwerts durch den Gradient einer Bedienelementgröße über der Zeit und/oder durch den Gradient der Betriebsgröße über der Zeit eingeleitet wird. Normalerweise wird die Brennkraftmaschine in der Normalbetriebsart betrieben. Ist jedoch zumindest eine der genannten Bedingungen erfüllt, so wird in die Prädiktionsbetriebsart gewechselt. Die Bedienelementgröße ist dabei der von einem Bedienelement zurückgegebene Wert, wobei das Bedienelement beispielsweise ein Gaspedal des Kraftfahrzeugs ist. Es ist unmittelbar einsichtig, dass eine rasche Betätigung

des Bedienelements durch den Fahrer einen hohen Gradienten der Bedienelementgröße zur Folge hat. Entsprechend kann aus dem Überschreiten des Schwellwerts durch den Gradient der Bedienelementgröße darauf geschlossen werden, dass sich die Betriebsgröße rasch verändern wird. Entsprechendes gilt für den Gradient der Betriebsgröße, wobei die Betriebsgröße beispielsweise als Sollbetriebsgröße vorliegt, welche insbesondere durch eine Fahrerassistenzeinrichtung vorgegeben wird. Die Prädiktionsbetriebsart wird also vorzugsweise nicht lediglich auf Fahrerwunsch eingeleitet, sondern auch, falls eine Fahrerassistenzeinrichtung einen raschen Lastwechsel bewirkt.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das momentane Lastmoment der Brennkraftmaschine als Betriebsgröße verwendet wird. Entsprechend ist die Betriebsgröße also eine Istbetriebsgröße der Brennkraftmaschine. Durch die Verwendung des momentanen Lastmoments beziehungsweise dessen Gradienten kann das zukünftig benötigte Sollverdichtungsverhältnis besonders genau bestimmt werden.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Schätzbetriebsgröße während des Durchführens der Prädiktionsbetriebsart regelmäßig abgeschätzt wird. Es wird also nicht lediglich einmalig nach dem Einleiten der Prädiktionsbetriebsart die Schätzbetriebsgröße und aus dieser das Sollverdichtungsverhältnis ermittelt. Vielmehr ist es vorgesehen, dass die Schätzbetriebsgröße und auch das Sollverdichtungsverhältnis während des Durchführens der Prädiktionsbetriebsart in bestimmten Zeitabständen aktualisiert werden. Auf diese Art und Weise wird eine höchstmögliche Genauigkeit der Abschätzung der erwarteten Schätzbetriebsgröße erzielt. Dies führt zu einem raschen Einstellen des Verdichtungsverhältnisses auf das zukünftig benötigte Verdichtungsverhältnis, mit welchem ein kraftstoffsparender Betrieb der Brennkraftmaschine durchgeführt werden kann.

Bei dem regelmäßigen Abschätzen der Schätzbetriebsgröße und dem entsprechenden Ermitteln des Sollverdichtungsverhältnisses kann es vorgesehen sein, nicht lediglich den momentanen Gradienten der Betriebsgröße, sondern vielmehr dessen Verlauf heranzuziehen. Auf Grundlage dieses Verlaufs kann anschließend eine Extrapolation der Betriebsgröße zum Erlangen der zu erwarteten Schätzbetriebsgröße vorgenommen werden.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Ableitung des Gradienten der Betriebsgröße bestimmt und bei Unterschreiten oder Überschreiten eines Grenzwerts durch die Ableitung die Prädiktionsbetriebsart beendet wird. Es wird also nicht lediglich der

Gradient der Betriebsgröße selbst, sondern zusätzlich dessen Ableitung ermittelt. Bei zu starken Veränderungen des Gradienten, welche durch das Überschreiten des Grenzwerts durch die Ableitung angezeigt werden, kann die Schätzbetriebsgröße nicht zuverlässig auf Grundlage des Gradienten der Betriebsgröße ermittelt werden. Aus diesem Grund wird die Prädiktionsbetriebsart beendet und erneut die Normalbetriebsart durchgeführt. So können falsche Prädiktionen der Schätzbetriebsgröße und darauf basierende, nicht zutreffende Sollverdichtungsverhältnisse vermieden werden, welche ansonsten zu einer Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens der Brennkraftmaschine führen könnten. Andererseits ist unter Umständen bei zu schwachen Änderungen des Gradienten keine Abschätzung notwendig, sondern vielmehr die Bestimmung des Sollverdichtungsverhältnisses in der Normalbetriebsart ausreichend. Diesem Umstand wird dadurch Rechnung getragen, dass die Prädiktionsbetriebsart bei dem Unterschreiten beendet wird.

Mit Vorteil kann zudem vorgesehen sein, dass die Prädiktionsbetriebsart beendet wird, wenn der Gradient der Bedienelementgröße und/oder der Gradient der Betriebsgröße den Schwellwert unterschreiten. Diese Bedingung kann zusätzlich oder alternativ zu der vorstehend beschriebenen Bedingung angewandt werden. Auch hier ist es bei Erfüllung der Bedingung vorgesehen, die Prädiktionsbetriebsart zu beenden und erneut die Normalbetriebsart durchzuführen. Wird der Schwellwert unterschritten, so bedeutet dies, dass nunmehr eine lediglich langsame Veränderung der Betriebsgröße und damit des Sollverdichtungsverhältnisses stattfinden wird. In diesem Fall reicht jedoch die Stellgeschwindigkeit der Stelleinrichtung aus, um das Verdichtungsverhältnis dem Sollverdichtungsverhältnis auch in der Normalbetriebsart ausreichend schnell nachzuführen. Die Prädiktion der Schätzbetriebsgröße ist daher nicht mehr notwendig.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Prädiktionsbetriebsart bei einem Überschreiten eines ersten Schwellwerts durch eine der genannten Größen eingeleitet und bei Unterschreiten eines zweiten Schwellwerts beendet wird. Der erste Schwellwert und der zweite Schwellwert sind dabei besonders bevorzugt verschieden gewählt. Insbesondere ist der erste Schwellwert größer als der zweite Schwellwert, sodass insoweit ein hystereseartiges Verhalten erzielt wird. Auf diese Art und Weise wird bei einem Schwanken der mit dem Schwellwert verglichenen Größe um diesen herum kein ständiges Wechseln zwischen der Normalbetriebsart und der Prädiktionsbetriebsart verursacht.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass der Zündwinkel während der Prädiktionsbetriebsart optimal gewählt wird. Eingangs wurde erläutert, dass aufgrund des Nachlaufens des Istverdichtungsverhältnisses zu dem Sollverdichtungsverhältnis bei einem ra-

schen Lastwechsel eine Veränderung des Zündwinkels notwendig sein kann, um die Klopfgrenze einzuhalten. Weil durch das vorausschauende Bestimmen der Schätzbetriebsgröße und mithin des Sollverdichtungsverhältnisses das gewünschte Verdichtungsverhältnis durch die Brennkraftmaschine rascher erreicht wird als bei bekannten Verfahren, kann auf eine solche Verschlechterung des Zündwinkels verzichtet werden. Vielmehr wird der Zündwinkel stets optimal gewählt. Alternativ kann jedoch auch eine derartige Zündwinkelverstellung vorgenommen werden, allerdings in geringerem Umfang als bei aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass als Bedienelementgröße die Stellung eines Bedienelements verwendet wird. Die Stellung beschreibt die Position des Bedienelements, in welche es durch einen Benutzer, beispielsweise durch den Fahrer des Kraftfahrzeugs, gebracht wird. Bei geeigneter Wahl des Bedienelements kann mithin auf eine zu erwartende rasche Änderung der Betriebsgröße der Brennkraftmaschine geschlossen werden.

Beispielsweise wird als Bedienelement ein Gaspedal, ein Bremspedal oder eine Kupplung verwendet. Durch die Betätigung zumindest eines dieser Bedienelemente löst der Fahrer des Kraftfahrzeugs instationäre Vorgänge aus, beispielsweise ein Anfahren, ein Beschleunigen oder ein Verzögern.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Brennkraftmaschine, insbesondere zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens, mit einer Stelleinrichtung zum Einstellen eines Verdichtungsverhältnisses auf ein Sollverdichtungsverhältnis, wobei die Brennkraftmaschine dazu ausgebildet ist, in einer Normalbetriebsart das Sollverdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine zu bestimmen. Dabei ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine dazu ausgebildet ist, zumindest zeitweise in einer Prädiktionsbetriebsart betrieben zu werden, in welcher das Sollverdichtungsverhältnis anhand einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt wird, die auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird. Auf die Vorteile einer derartigen Ausgestaltung der Brennkraftmaschine beziehungsweise einer derartigen Vorgehensweise wurde bereits hingewiesen. Die Brennkraftmaschine sowie das entsprechende Verfahren können gemäß den vorstehenden Ausführungen weitergebildet sein, sodass insoweit auf diese verwiesen wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert, ohne dass eine Beschränkung der Erfindung erfolgt. Dabei zeigt:

Figur 1 ein Diagramm, in welchem eine Bedienelementgröße, ein Lastmoment einer Brennkraftmaschine, ein Sollverdichtungsverhältnis sowie ein Istverdichtungsverhältnis über der Zeit aufgetragen sind, und

Figur 2 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Betreiben der Brennkraftmaschine mit einem variablen Verdichtungsverhältnis.

Die Figur 1 zeigt ein Diagramm, in welchem verschiedene Größen über der Zeit  $t$  aufgetragen sind. Ein Verlauf 1 gibt den Verlauf einer Bedienelementgröße wieder, wobei diese Bedienelementgröße die Stellung eines Bedienelements eines Kraftfahrzeugs, nämlich beispielsweise eines Gaspedals, wiedergibt. Es wird deutlich, dass ein Fahrer des Kraftfahrzeugs ab dem Zeitpunkt  $t_0$  die Stellung des Gaspedals verändert, um ein höheres Lastmoment der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs zu erzielen beziehungsweise auszugleichen. Die Veränderung der Stellung des Gaspedals ist zum Zeitpunkt  $t_2$  abgeschlossen. Bis zum Zeitpunkt  $t_3$  bleibt die Stellung konstant. Nachfolgend wird sie erneut durch den Fahrer bis zum Zeitpunkt  $t_5$  verändert, um ein geringeres Lastmoment der Brennkraftmaschine einzustellen beziehungsweise auszugleichen. Der Verlauf des Lastmoments wird durch einen Verlauf 2 wiedergegeben. Es wird deutlich, dass das Lastmoment der Bedienelementgröße hinterherläuft.

Die Brennkraftmaschine verfügt über eine Stelleinrichtung, mittels welcher ein Verdichtungsverhältnis in den Zylindern der Brennkraftmaschine einstellbar ist. Das Verdichtungsverhältnis gibt dabei das Verhältnis des Zylindervolumens vor einer Verdichtung zu dem Zylindervolumen nach erfolgter Verdichtung an. Zum Einstellen des Verdichtungsverhältnisses wird an der Brennkraftmaschine beziehungsweise der Stelleinrichtung ein Sollverdichtungsverhältnis eingestellt. Der Verlauf dieses Sollverdichtungsverhältnisses ist durch den Verlauf 3 angedeutet. Es wird deutlich, dass sich das Sollverdichtungsverhältnis bei einer Veränderung des Lastmoments der Brennkraftmaschine, welche als Betriebsgröße verwendet wird, ausgehend von einem Maximalwert verändert, bis ein Minimalwert erreicht ist.

Weil jedoch die zum Einstellen des Verdichtungsverhältnisses verwendete Stelleinrichtung lediglich eine begrenzte Stellgeschwindigkeit aufweist, läuft das tatsächlich vorlie-

gende Istverdichtungsverhältnis dem Sollverdichtungsverhältnis hinterher. Der Verlauf des Istverdichtungsverhältnisses wird durch einen Verlauf 4 wiedergegeben. Auch zwischen einer ersten Veränderung des Sollverdichtungsverhältnisses und einer ersten Veränderung des Istverdichtungsverhältnisses liegt eine Verzögerung vor. Während das Sollverdichtungsverhältnis sich bereits ab dem Zeitpunkt  $t_0$  verändert, ist dies für das Istverdichtungsverhältnis erst ab dem Zeitpunkt  $t_1$  der Fall. Dies gilt ebenso analog für die Verringerung der Bedienelementgröße ab dem Zeitpunkt  $t_3$ , für welche die Veränderung des Istverdichtungsverhältnisses erst ab dem Zeitpunkt  $t_4$  erfolgt.

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass das Nachlaufen des Istverdichtungsverhältnisses vergleichsweise rasch erfolgt. Dies wird erzielt, indem die Brennkraftmaschine in mehreren Betriebsarten betreibbar ist. In einer Normalbetriebsart soll das Sollverdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine bestimmt werden, wobei als Betriebsgröße beispielsweise das Lastmoment herangezogen wird. In einer Prädiktionsbetriebsart soll dagegen das Sollverdichtungsverhältnis auf Grundlage einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt werden, wobei diese Schätzbetriebsgröße auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird. Das Sollverdichtungsverhältnis wird also nicht auf den momentan vorliegenden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine, sondern auf einen in der Zukunft erwarteten Betriebspunkt eingestellt. Auf diese Art und Weise kann das Anpassen des Istverdichtungsverhältnisses auf ein optimales Verdichtungsverhältnis, mit welchem ein kraftstoffsparender Betrieb der Brennkraftmaschine möglich ist, bei abrupten Lastwechseln deutlich rascher erfolgen als in der Normalbetriebsart.

Die Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm, in welchem die Vorgehensweise für die Prädiktionsbetriebsart wiedergegeben ist. Das Verfahren beginnt in einem Startpunkt 5. Im Rahmen einer Verzweigung 6 wird überprüft, ob der Gradient einer Bedienelementgröße, in dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel die Stellung des Gaspedals, von Null verschieden ist. Ist dies der Fall, so wird im Rahmen einer Verzweigung 7 überprüft, ob der Gradient größer als ein Schwellwert ist. Dabei wird ein Absolutwert für den Gradient herangezogen, sodass sowohl bei einer auf eine Verringerung des Lastmoments gerichteten Veränderung der Stellung als auch bei einer auf eine Vergrößerung des Lastmoments gerichteten Veränderung der Stellung aus der Normalbetriebsart in die Prädiktionsbetriebsart gewechselt wird, wenn die genannte Bedingung erfüllt ist.

Ist die Bedingung tatsächlich erfüllt, ist also der Gradient größer als der Schwellwert, so wird im Rahmen einer Operation 8 der Gradient der Betriebsgröße, beispielsweise der

Gradient des momentanen Lastmoments der Brennkraftmaschine, bestimmt. Aus diesem wird in der Operation 9 die Schätzbetriebsgröße bestimmt und aus dieser das Sollverdichtungsverhältnis ermittelt. Die Schätzbetriebsgröße wird dabei für einen Zeitpunkt ermittelt, der eine bestimmte Zeitspanne in der Zukunft liegt. Die Operationen 8 und 9 werden dabei, was durch die Einfassung 10 angedeutet wird, zu einem Zeitpunkt  $t$  durchgeführt.

Nachfolgend wird im Rahmen einer Operation 11 die Ableitung des Gradienten der Betriebsgröße bestimmt, insbesondere also die zweifache Ableitung des Lastmoments der Brennkraftmaschine. Zur Durchführung dieser Berechnung sind wenigstens zwei Werte für den Gradient der Betriebsgröße notwendig. Beispielsweise wird also die Operation 11, wie durch die Einfassung 12 angedeutet, erst zu einem auf den Zeitpunkt  $t$  folgenden Zeitpunkt  $t+\Delta t$  durchgeführt. Nach der Operation 11 wird in einer Verzweigung 13 geprüft, ob die Ableitung kleiner als ein Grenzwert ist. Ist dies der Fall, so wird im Rahmen einer Operation 14 die Prädiktionsbetriebsart beendet und erneut die Normalbetriebsart durchgeführt, weil eine Prädiktion bei einem kleinen Wert der Ableitung nicht notwendig ist. Ist dagegen die Ableitung des Gradienten der Betriebsgröße größer als der Schwellwert, so wird mit dem nun aktuellen Gradient der Betriebsgröße zum Zeitpunkt  $t+\Delta t$  im Rahmen der Operation 15 die Schätzbetriebsgröße und mithin das Sollverdichtungsverhältnis aktualisiert.

Das Bestimmen des Sollverdichtungsverhältnisses erfolgt in der Prädiktionsbetriebsart analog zu der Vorgehensweise in der Normalbetriebsart, wobei jedoch anstatt der Betriebsgröße die Schätzbetriebsgröße als Grundlage herangezogen wird. Das Bestimmen wird beispielsweise mittels einer mathematischen Beziehung, einer Tabelle oder eines Kennfelds vorgenommen, wobei in der Normalbetriebsart die Betriebsgröße und in der Prädiktionsbetriebsart die Schätzbetriebsgröße als Eingangsgröße verwendet wird. Als Ausgangsgröße liegt nachfolgend das Sollverdichtungsverhältnis vor. Mithilfe einer derartigen Vorgehensweise kann in der Prädiktionsbetriebsart ein schnelles Angleichen des Istverdichtungsverhältnisses an das Sollverdichtungsverhältnis erzielt werden. Damit kann eine ansonsten notwendige Anpassung des Zündwinkels während des Verstellens des Verdichtungsverhältnisses mittels der Stelleinrichtung weitgehend oder sogar vollständig unterbleiben, sodass insgesamt eine deutliche Reduzierung des Verbrauchs und auch der Schadstoffemissionen erreicht wird.

**BEZUGSZEICHENLISTE**

- 1 Verlauf
- 2 Verlauf
- 3 Verlauf
- 4 Verlauf
- 5 Startpunkt
- 6 Verzweigung
- 7 Verzweigung
- 8 Operation
- 9 Operation
- 10 Einfassung
- 11 Operation
- 12 Einfassung
- 13 Verzweigung
- 14 Operation
- 15 Operation

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei welcher ein Verdichtungsverhältnis mittels einer Stelleinrichtung auf ein Sollverdichtungsverhältnis eingestellt wird, wobei in einer Normalbetriebsart der Brennkraftmaschine das Sollverdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine zumindest zeitweise in einer Prädiktionsbetriebsart betrieben wird, in welcher das Sollverdichtungsverhältnis anhand einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt wird, die auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prädiktionsbetriebsart bei einem Überschreiten eines Schwellwerts durch den Gradient einer Bedienelementgröße über der Zeit und/oder durch den Gradient der Betriebsgröße über der Zeit eingeleitet wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das momentane Lastmoment der Brennkraftmaschine als Betriebsgröße verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schätzbetriebsgröße während des Durchführens der Prädiktionsbetriebsart regelmäßig abgeschätzt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ableitung des Gradienten der Betriebsgröße bestimmt und bei Unterschreiten oder Überschreiten eines Grenzwerts durch die Ableitung der Prädiktionsbetriebsart beendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prädiktionsbetriebsart beendet wird, wenn der Gradient der Bedienelementgröße und/oder der Gradient der Betriebsgröße den Schwellwert unterschreiten.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zündwinkel während der Prädiktionsbetriebsart optimal gewählt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Bedienelementgröße die Stellung eines Bedienelements verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Bedienelement ein Gaspedal, ein Bremspedal oder eine Kupplung verwendet wird.
10. Brennkraftmaschine mit einer Stelleinrichtung zum Einstellen eines Verdichtungsverhältnisses auf ein Sollverdichtungsverhältnis, wobei die Brennkraftmaschine dazu ausgebildet ist, in einer Normalbetriebsart das Sollverdichtungsverhältnis in Abhängigkeit von einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine zu bestimmen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine dazu ausgebildet ist, zumindest zeitweise in einer Prädiktionsbetriebsart betrieben zu werden, in welcher das Sollverdichtungsverhältnis anhand einer erwarteten Schätzbetriebsgröße ermittelt wird, die auf Grundlage des momentanen Gradienten der Betriebsgröße über der Zeit abgeschätzt wird.

1/1

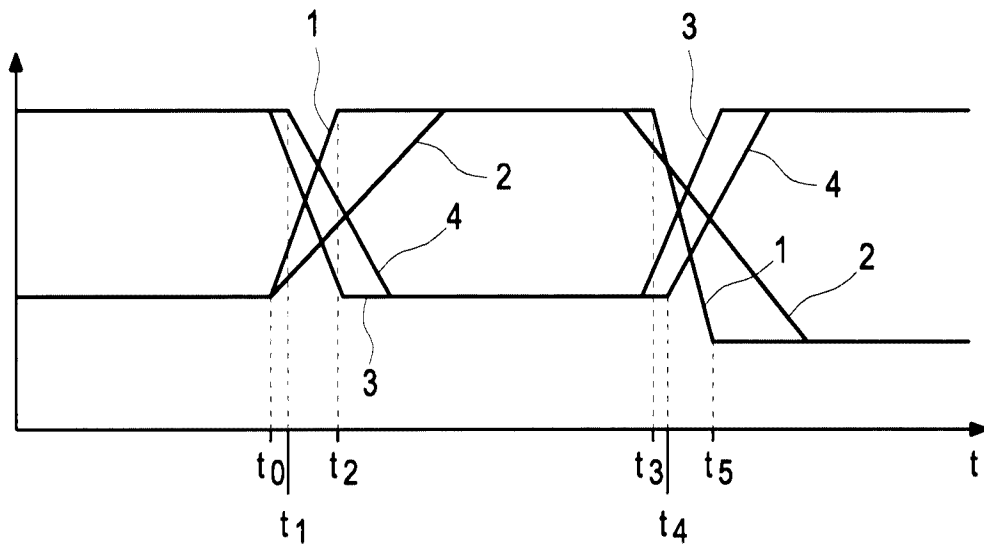


Fig. 1

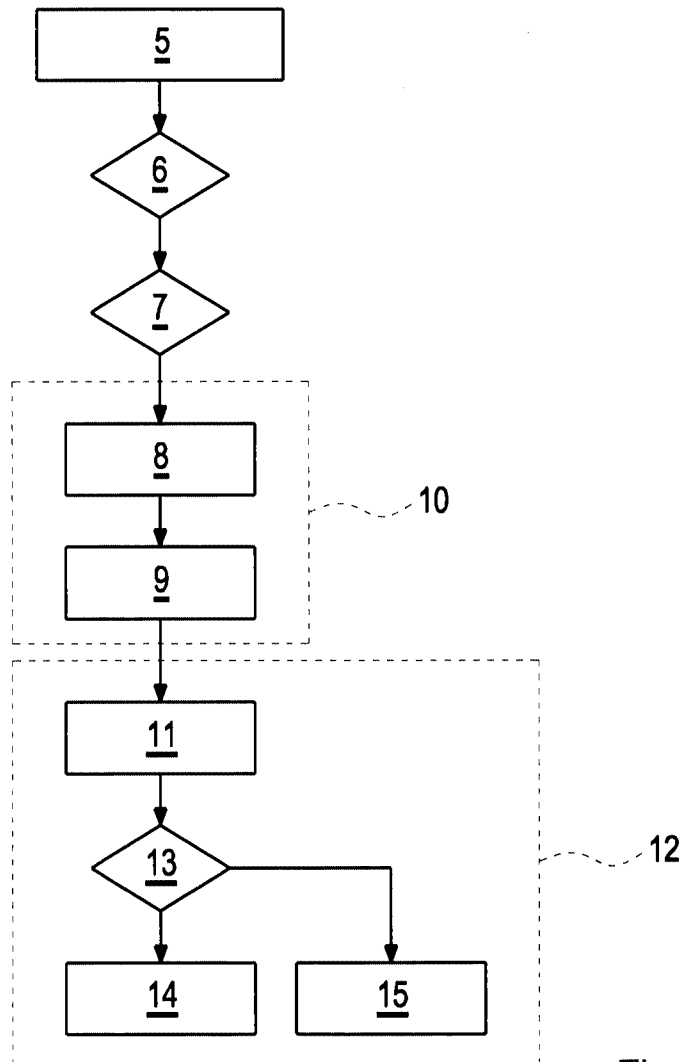


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/000146

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F02D41/04  
ADD. F02D41/14

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.
X	DE 10 2004 031288 A1 (FEV MOTORENTECH GMBH [DE]) 19 January 2006 (2006-01-19) cited in the application paragraphs [0003], [0005], [0006], [0007], [0018], [0029], [0031], [0032], [0042]	1-10
A	DE 102 20 598 B3 (SIEMENS AG [DE]) 4 March 2004 (2004-03-04) cited in the application paragraphs [0009], [0011], [0012]	1-10
A	EP 1 293 659 B1 (NISSAN MOTOR [JP]) 28 October 2009 (2009-10-28) cited in the application paragraph [0004]	1-10

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  3 April 2014	Date of mailing of the international search report  10/04/2014
---	--

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  Jackson, Stephen
--	--

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/000146

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102004031288 A1	19-01-2006	NONE	
-----			
DE 10220598	B3	04-03-2004	NONE
-----			
EP 1293659	B1	28-10-2009	
		EP 1293659 A2	19-03-2003
		JP 4058927 B2	12-03-2008
		JP 2003090236 A	28-03-2003
		US 2003051685 A1	20-03-2003
-----			

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/000146

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**

INV. F02D41/04

ADD. F02D41/14

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.
X	DE 10 2004 031288 A1 (FEV MOTORENTECH GMBH [DE]) 19. Januar 2006 (2006-01-19) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0003], [0005], [0006], [0007], [0018], [0029], [0031], [0032], [0042] -----	1-10
A	DE 102 20 598 B3 (SIEMENS AG [DE]) 4. März 2004 (2004-03-04) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0009], [0011], [0012] -----	1-10
A	EP 1 293 659 B1 (NISSAN MOTOR [JP]) 28. Oktober 2009 (2009-10-28) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0004] -----	1-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

- |  |   |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
3. April 2014	10/04/2014

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  Jackson, Stephen
--	---

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/000146

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102004031288 A1	19-01-2006	KEINE	
-----			
DE 10220598	B3 04-03-2004	KEINE	
-----			
EP 1293659	B1 28-10-2009	EP 1293659 A2	19-03-2003
		JP 4058927 B2	12-03-2008
		JP 2003090236 A	28-03-2003
		US 2003051685 A1	20-03-2003
-----			