

(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  
6. Oktober 2016 (06.10.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2016/155986 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*F02D 41/24* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/054846

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. März 2016 (08.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2015 205 877.8 1. April 2015 (01.04.2015) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **JOOS, Klaus**; In Der Eichhaelde 3, 74399  
Walheim (DE). **HESS, Werner**; Zorndorfer Str. 23, 70499  
Stuttgart (DE). **SCHENCK ZU SCHWEINSBERG,  
Alexander**; Albert-Einstein-Str. 7, 71696 Moeglingen  
(DE). **HIRCHENHEIN, Achim**; Fritz-Schofer-Str. 24,  
74321 Bietigheim-Bissingen (DE). **BAUER, Michael**;  
Bergheimer Weg 64, 70839 Gerlingen (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, DE, 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, 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, ST,  
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 DETERMINING A CORRECTION VALUE FOR A FUEL INJECTION AMOUNT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERMITTELN EINES KORREKTURWERTES FÜR EINE  
KRAFTSTOFFEINSPIRTZMENGE

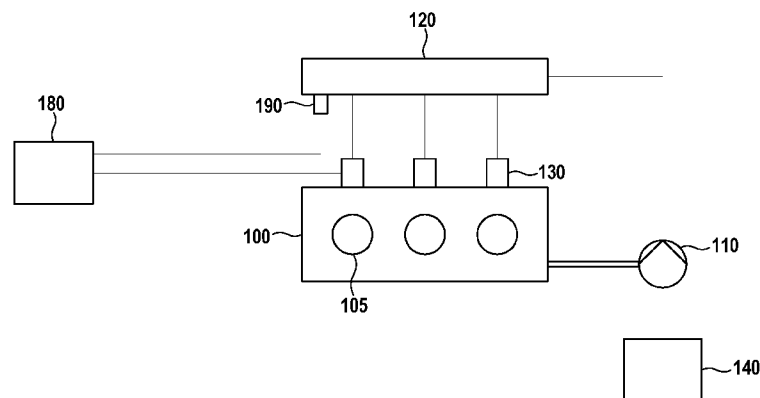


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining a correction value for a fuel metering of a fuel injector (130) of an internal combustion engine (100), wherein fuel is injected from a high-pressure store (120) into a combustion chamber (105) by means of the fuel injector (130), wherein a value is determined that is representative for a static through-flow rate through the fuel injector (130), wherein, in at least one injection process of the fuel injector (130), a relationship of a pressure difference occurring in the high-pressure store (120) as a result of the injection process and an associated duration that is characteristic for the injection process is determined, and wherein the correction value is determined based on a comparison of the representative value with a comparison value.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/155986 A1

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Korrekturwertes für eine Kraftstoffzumessung eines Kraftstoffinjektors (130) einer Brennkraftmaschine (100), bei der mittels des Kraftstoffinjektors (130) Kraftstoff aus einem Hochdruckspeicher (120) in einen Brennraum (105) eingespritzt wird, wobei ein für eine statische Durchflussrate durch den Kraftstoffinjektor (130) repräsentativer Wert ermittelt wird, indem bei wenigstens einem Einspritzvorgang des Kraftstoffinjektors (130) ein Verhältnis einer im Hochdruckspeicher (120) aufgrund des Einspritzvorgangs auftretender Druckdifferenz und einer zugehörigen, für den Einspritzvorgang charakteristischen Dauer ermittelt wird, und wobei anhand eines Vergleichs des repräsentativen Wertes mit einem Vergleichswert der Korrekturwert ermittelt wird.

Beschreibung

5 Titel

**VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERMITTELN EINES  
KORREKTURWERTES FÜR EINE KRAFTSTOFFEINSPIRTZMENGE**

10 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Korrekturwertes für eine Kraftstoffzumessung eines Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine, bei der mittels des Kraftstoffinjektors Kraftstoff aus einem Hochdruckspeicher in einen Brennraum eingespritzt wird.

15 Stand der Technik

Bei Kraftfahrzeugen gelten hinsichtlich einzuhaltender Emissionen von Schadstoffen teilweise sehr strenge Grenzwerte. Um aktuelle und insbesondere auch zukünftige Emissions- bzw. Abgasgrenzwerte einzuhalten, ist u.a. eine genaue Kraftstoffzumessung bei der Einspritzung entscheidend.

20 Dabei ist jedoch zu Berücksichtigen, dass bei der Zumessung verschiedene Toleranzen auftreten. Solche Zumesstoleranzen resultieren im Allgemeinen aus exemplarabhängiger Nadeldynamik und exemplarabhängiger statischer Durchflussrate der Kraftstoffinjektoren. Ein Einfluss der Nadeldynamik kann bspw.  
25 durch einen mechatronischen Ansatz, wie bspw. einer sog. Controlled Valve Operation reduziert werden. Bei einer Controlled Valve Operation werden Ansteuerzeiten der Kraftstoffinjektoren im Sinne einer Regelung bspw. über die Lebensdauer eines Kraftfahrzeugs hinweg angepasst. Dabei werden während der Einspritzung das Ansteuersignal erfasst und parallel aus Öffnungs- und Schließzeitpunkt die Offendauer der Ventilmadel ermittelt. Somit kann die tatsächliche  
30 Offendauer jedes Injektors errechnet und gegebenenfalls nachgeregelt werden. In der DE 10 2009 002 593 A1 wird ein solches Verfahren zum Regeln einer Ist-Offendauer eines Ventils auf eine Soll-Offendauer beschrieben.

Mögliche Fehler bei der statischen Durchflussrate resultieren aus Toleranzen der Einspritzlochgeometrie und des Nadelhubs. Solche Fehler können bisher meist nur global, d.h. hinsichtlich aller Kraftstoffinjektoren der Brennkraftmaschine gemeinsam, bspw. auf Basis einer Lambdaregelung bzw. Gemischadaption korrigiert werden. Damit kann jedoch nicht erkannt werden, ob einzelne Kraftstoffinjektoren der Brennkraftmaschine eine Abweichung hinsichtlich ihrer statischen Durchflussrate aufweisen (d.h. bei gleicher Offendauer unterschiedliche Mengen abgeben), die abgas- oder laufrohre relevant sein können.

5

10

Aus der DE 10 2007 050 813 A1 ist bspw. ein Verfahren zur Abgabemengenüberwachung einer Injektorsteuerung einer Brennkraftmaschine bekannt, bei dem anhand eines Druckabfalls im Hochdruckspeicher eine vom Injektor abgegebene Kraftstoffmenge überwacht wird. Eine detaillierte Ermittlung von Ursachen etwaiger Abweichungen und deren Korrektur ist hiermit jedoch nicht möglich.

15

Es ist daher wünschenswert, eine Möglichkeit für eine genauere Überwachung und/oder Korrektur einer Kraftstoffzumessung bei Kraftstoffinjektoren von Brennkraftmaschinen anzugeben.

20

Offenbarung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

25

Vorteile der Erfindung

Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zum Ermitteln eines Korrekturwertes für eine Kraftstoffzumessung eines Kraftstoffinjektors einer Brennkraftmaschine, bei der mittels des Kraftstoffinjektors Kraftstoff aus einem Hochdruckspeicher in einen Brennraum eingespritzt wird. Dabei wird ein für eine statische Durchflussrate durch den Kraftstoffinjektor repräsentativer Wert ermittelt, indem bei wenigstens einem Einspritzvorgang des Kraftstoffinjektors ein Verhältnis einer im Hoch-

30

druckspeicher aufgrund des Einspritzvorgangs auftretender Druckdifferenz und einer zugehörigen, für den Einspritzvorgang charakteristischen Dauer ermittelt wird. Der für die statische Durchflussrate durch den Kraftstoffinjektor repräsentative Wert ist somit eine Druckrate. Weiter wird dann anhand eines Vergleichs des  
5 repräsentativen Wertes mit einem Vergleichswert, z.B. durch Quotientenbildung, der Korrekturwert ermittelt.

Der Korrekturwert wird dann vorzugsweise zur Korrektur eines Werts für die statische Durchflussrate verwendet, wobei der Wert bei der Ermittlung von Soll-  
10 Dauern bzw. Zeiten, die für den Einspritzvorgang charakteristisch sind, beispielsweise einer Soll-Offendauer oder einer Soll-Ansteuerdauer, verwendet wird. Beispielsweise kann der bisherige Wert für die statische Durchflussrate mit dem Korrekturwert multipliziert werden. Insbesondere kann die Korrektur während des Betriebs eines Kraftfahrzeugs, insbesondere auch regelmäßig, oder  
15 auch während einer Wartung oder einer sonstigen Überprüfung erfolgen.

Die Erfindung macht sich zunutze, dass die von einem Kraftstoffinjektor während eines Einspritzvorgangs abgegebene Kraftstoffmenge bzw. dessen Volumen proportional oder zumindest hinreichend proportional zu der zugehörigen Druck-  
20 differenz, d.h. dem Druckunterschied vor und nach dem Einspritzvorgang, im Hochdruckspeicher, dem sog. Rail ist. Wenn nun zudem eine für den Einspritzvorgang charakteristische Dauer bekannt ist, kann aus dem Verhältnis dieser Druckdifferenz und der zugehörigen Dauer ein Wert ermittelt werden, der bis auf einen Proportionalitätsfaktor der statischen Durchflussrate durch den Kraftstoff-  
25 injektor entspricht.

Durch Berücksichtigung der statischen Durchflussrate, also der Einspritzmenge pro Zeit im Vollhub, kann die Einspritzdauer zum Einspritzen einer gewünschten  
30 Einspritzmenge noch genauer vorgegeben werden. Da dieses Verfahren für jeden Kraftstoffinjektor der Brennkraftmaschine durchgeführt werden kann, können somit injektorspezifische Abweichungen bei der Kraftstoffzumessung, die bei einer globalen Anpassung der Gesamteinspritzmenge über eine Lambdamessung bspw. nicht erfasst werden können, korrigiert werden. Abweichungen bei der Naddynamik (also der Öffnungs- und Schließzeitpunkte) hingegen können durch

ein eingangs erwähntes mechatronisches Verfahren korrigiert werden. Somit stehen für beide, die Kraftstoffzumessung beeinflussenden Faktoren, Nadeldynamik und statische Durchflussrate, jeweils geeignete und genaue Verfahren zur Verfügung.

5

Vorzugsweise wird der repräsentative Wert aus bei mehreren Einspritzvorgängen des Kraftstoffinjektors ermittelten Verhältnissen von Druckdifferenz und zugehöriger Dauer ermittelt. Da bei einer einzelnen Messung von Druckdifferenz und für die Einspritzung charakteristischer Dauer die resultierende Genauigkeit beschränkt ist, können wesentlich genauere Werte erreicht werden, indem mehrere Messungen durchgeführt werden, die auf geeignete Weise zueinander in Beziehung gesetzt werden.

10

15

Zweckmäßigerweise wird der repräsentative Wert aus einem Mittelwert von bei mehreren Einspritzvorgängen des Kraftstoffinjektors ermittelten Verhältnissen von Druckdifferenz und zugehöriger Dauer ermittelt, da eine Mittelwertbildung sehr einfach ist und einen genauen Wert liefert. Eine nötige Anzahl an Messungen ist dabei meist von typischen Pulsationen im Hochdruckspeicher und einer Genauigkeit des eingesetzten Sensors für den Druck im Hochdruckspeicher abhängig.

20

25

30

Vorteilhafterweise wird der Korrekturwert anhand eines Verhältnisses aus dem repräsentativen Wert und einem Mittelwert von entsprechenden repräsentativen Werten aller Kraftstoffinjektoren der Brennkraftmaschine als Vergleichswert ermittelt. Damit ist das Verfahren unabhängig von möglichen systematischen Messfehlern, bspw. aufgrund ungenauer Sensoren oder fehlender Informationen über die aktuellen Kraftstoffeigenschaften, wie z.B. Temperatur oder Ethanolgehalt. Durch die Quotientenbildung fallen diese Einflussfaktoren weg. Ebenso muss der Proportionalitätsfaktor nicht berücksichtigt werden. Hierzu sei angemerkt, dass die repräsentativen Werte aller Kraftstoffinjektoren zweckmäßigerweise jeweils auf dieselbe Weise ermittelt werden. Sofern hinreichend viele und hinreichend genaue Sensoren, z.B. für den Druck im Hochdruckspeicher, Medientemperatur und Ethanolgehalt, verwendet werden bzw. verwendet werden können, kann damit auch ein absoluter Wert für die statische Durchflussrate er-

mittelt werden. Der Korrekturwert kann anhand eines Verhältnisses aus diesem absoluten Wert und einem erwünschten Wert als Vergleichswert ermittelt werden.

5 Es ist von Vorteil, wenn der Mittelwert der entsprechenden Korrekturwerte aller Kraftstoffinjektoren der Brennkraftmaschine derart eingestellt wird, dass ein gewünschtes Kraftstoff-Sauerstoff-Verhältnis im Abgas nicht verändert wird. Dieses Kraftstoff-Sauerstoff-Verhältnis wird dabei auch als Lambda-Wert bezeichnet. Damit können bspw. möglichst optimale Abgaswerte der Brennkraftmaschine er-  
10 reicht werden.

Vorzugsweise werden bei der Ermittlung der für den Einspritzvorgang des Kraftstoffinjektors charakteristischen Dauer eine Ist-Offendauer (d.h. die gemessene Dauer zwischen Öffnungszeitpunkt und Schließzeitpunkt), eine Soll-Offendauer  
15 (d.h. die ideale Modell-Offendauer, d.h. eine nicht gemessene Offendauer), eine Ansteuerdauer, d.h. die Zeitdauer, in der ein Ansteuersignal am Ventil anliegt, und/oder eine Schließzeit, d.h. die Zeit vom Ende der Ansteuerdauer bis zum Ende der Offendauer, berücksichtigt. Zwar ist die Ist-Offendauer der Wert, durch den die Dauer des Kraftstoffflusses während des Einspritzvorgangs am genauesten beschrieben wird, jedoch können auch die anderen Größen, ggf. mit einer  
20 Korrektur, hinreichend genau für die Bestimmung der relevanten Dauer des Einspritzvorgangs sein, vor allem sind diese teilweise sehr einfach zu ermitteln. Eine Kombination von zwei oder mehr der genannten Größen kann noch genauere Werte liefern. Welche Größen verwendet werden, kann dabei bspw. von vorhandenen Erfassungsmitteln wie Sensoren oder Daten in der Ansteuerelektronik ab-  
25 hängig gemacht werden. Die Ist-Offendauer kann dabei bspw. mittels der eingangs erwähnten Controlled Valve Operation ermittelt werden, bei welcher ja die Einspritzdauer eingeregelt wird.

30 Vorteilhafterweise werden während des wenigstens einen Einspritzvorgangs einen Druck im Hochdruckspeicher erhöhende Vorgänge verhindert. Dazu zählt insbesondere das Verhindern bzw. Unterbrechen der Nachförderung von Kraftstoff in den Hochdruckspeicher durch eine Hochdruckpumpe. Die Druckdifferenz im Hochdruckspeicher aufgrund des Einspritzvorgangs kann ansonsten möglichenfalls

erwise nicht hinreichend genau erfasst werden bzw. diese wird verfälscht. Mögliche Leckagen, die ebenfalls zu Druckverlust führen, sind hingegen insbesondere bei der relativen Bestimmung des Korrekturwerts, bei der der repräsentative Wert eines Kraftstoffinjektors zu einem Mittelwert entsprechender repräsentativer Werte aller Kraftstoffinjektoren ins Verhältnis gesetzt wird, nicht von Bedeutung.

Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät, insbesondere ein Motorsteuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

Auch die Implementierung des Verfahrens in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, elektrische und optische Speicher, wie Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt schematisch eine Brennkraftmaschine mit Common-Rail-System, die zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist.

Figur 2 zeigt in einem Diagramm ein Durchflussvolumen bei einem Kraftstoffinjektor über der Zeit.

Figur 3 zeigt in einem Diagramm einen Druckverlauf in einem Hochdruckspeicher während eines Einspritzvorgangs.

Figur 4 zeigt schematisch einen Ablauf zur Ermittlung einer Ansteuerzeit für einen Kraftstoffinjektor.

## 5 Ausführungsformen der Erfindung

In Figur 1 ist schematisch eine Brennkraftmaschine 100 gezeigt, die zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. Beispielfhaft umfasst die Brennkraftmaschine 100 drei Brennräume bzw. zugehörige Zylinder 105. Jedem Brennraum 105 ist ein Kraftstoffinjektor 130 zugeordnet, welcher wiederum jeweils an einen Hochdruckspeicher 120, einem sog. Rail, angeschlossen ist, über welchen er mit Kraftstoff versorgt wird. Es versteht sich, dass ein erfindungsgemäßes Verfahren auch bei einer Brennkraftmaschine mit einer beliebigen anderen Anzahl an Zylindern, bspw. vier, sechs, acht oder zwölf Zylinder, durchgeführt werden kann.

Weiter wird der Hochdruckspeicher über eine Hochdruckpumpe 110 mit Kraftstoff aus einem Kraftstofftank 140 gespeist. Die Hochdruckpumpe 110 ist mit der Brennkraftmaschine 100 gekoppelt, und zwar bspw. derart, dass die Hochdruckpumpe über eine Kurbelwelle der Brennkraftmaschine, bzw. über eine Nockenwelle, welche wiederum mit der Kurbelwelle gekoppelt ist, angetrieben wird.

Eine Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren 130 zum Zumessen von Kraftstoff in die jeweiligen Brennräume 105 erfolgt über eine als Motorsteuergerät 180 ausgebildete Recheneinheit. Der Übersichtlichkeit halber ist nur die Verbindung vom Motorsteuergerät 180 zu einem Kraftstoffinjektor 130 dargestellt, es versteht sich jedoch, dass jeder Kraftstoffinjektor 130 an das Motorsteuergerät entsprechend angeschlossen ist. Jeder Kraftstoffinjektor 130 kann dabei spezifisch angesteuert werden. Ferner ist das Motorsteuergerät 130 dazu eingerichtet, den Kraftstoffdruck in dem Hochdruckspeicher 120 mittels eines Drucksensors 190 zu erfassen.

In Figur 2 ist in einem Diagramm ein kumuliertes Durchflussvolumen  $V$  durch einen Kraftstoffinjektor über der Zeit  $t$  bei einer lange andauernden Ansteuerung

des Kraftstoffinjektors dargestellt. Zum Zeitpunkt  $t_p$  beginnt dabei eine Ansteuerzeit und zum Zeitpunkt  $t_1$  beginnt sich die Ventalnadel zu heben. Zum Zeitpunkt  $t_1$  beginnt somit auch eine Offendauer des Kraftstoffinjektors. Dabei ist zu sehen, dass das kumulierte Durchflussvolumen  $V$  bzw. die durch den Kraftstoffinjektor geflossene Kraftstoffmenge nach einer kurzen Zeitdauer während des Anhebens der Ventalnadel über einen weiten Bereich konstant ansteigt. In diesem Bereich befindet sich die Ventalnadel im sog. Vollhub, d.h. die Ventalnadel ist vollständig bzw. bis zu einer Soll-Höhe angehoben.

5

10

Während dieser Zeit fließt eine konstante Kraftstoffmenge pro Zeiteinheit durch die Ventilöffnung des Kraftstoffinjektors, d.h. die statische Durchflussrate  $Q_{stat}$ , die die Steigung des kumulierten Durchflussvolumens  $V$  angibt, ist konstant. Die Größe der statischen Durchflussrate ist dabei ein wesentlicher Faktor, der, wie eingangs bereits erwähnt, die insgesamt während eines Einspritzvorgangs eingespritzte Kraftstoffmenge bestimmt. Abweichungen bzw. Toleranzen in der statischen Durchflussrate wirken sich daher auf die eingespritzte Kraftstoffmenge pro Einspritzvorgang aus.

15

20

Zum Zeitpunkt  $t_3$  endet die Ansteuerzeit und es beginnt die Schließzeit. Dabei beginnt die Ventalnadel, sich zu senken. Die Schließzeit und die Offendauer enden zum Zeitpunkt  $t_4$ , wenn die Ventalnadel wieder vollständig das Ventil verschließt.

25

30

In Figur 3 ist in einem Diagramm ein Druckverlauf  $p$  in einem Hochdruckspeicher während eines Einspritzvorgangs über der Zeit  $t$  dargestellt. Hierbei ist zu sehen, dass der Druck  $p$  im Hochdruckspeicher, von gewissen Schwankungen aufgrund von Pumpenförderungen und Kraftstoffentnahmen durch Einspritzungen abgesehen, im Wesentlichen konstant ist. Während des Einspritzvorgangs, der eine Zeitdauer  $\Delta t$  andauert, sinkt der Druck  $p$  im Hochdruckspeicher um einen Wert  $\Delta p$ .

Anschließend bleibt der Druck  $p$ , wieder von gewissen Schwankungen abgesehen, auf dem niedrigeren Niveau, bis durch eine Nachförderung durch die Hochdruckpumpe der Druck  $p$  wieder auf das Ausgangsniveau ansteigt.

Die Erfassung und Auswertung dieser Druckeinbrüche bei Einspritzvorgängen erfolgt dabei mit üblicherweise ohnehin vorhandenen Komponenten, wie bspw. dem Drucksensor 190 und dem Motorsteuergerät 180 inkl. entsprechender Eingangsbeschaltung. Zusätzliche Komponenten sind daher nicht nötig.

Diese Auswertung erfolgt individuell für jeden Brennraum 105 und damit injektor-individuell. Dadurch wird eine Zumesstreuung zwischen den Brennräumen reduziert und es können bspw. verkokte oder defekte Injektoren bspw. in der Werkstatt (über einen Tester) besser identifiziert werden.

Die statische Durchflussrate  $Q_{\text{stat}}$  durch den Kraftstoffinjektor ist, wie bereits erwähnt, charakterisiert durch die eingespritzte Kraftstoffmenge bzw. dessen Volumen pro Zeit. In einem auf Systemdruck aufgepumpten Hochdruckspeicher bzw. Rail ist das eingespritzte Volumen proportional zum Druckeinbruch im Rail. Die zugehörige Zeitdauer entspricht dabei der Offendauer des Kraftstoffinjektors, die bspw., wie eingangs erwähnt, mechatronisch mittels einer sog. Controlled Valve Operation bestimmt werden kann.

Durch eine Quotientenbildung zwischen Druckeinbruch bzw. Druckdifferenz  $\Delta p$  und Offendauer bzw. Zeitdauer der Einspritzung  $\Delta t$  erhält man eine Druckrate als Ersatzwert bzw. repräsentativen Wert  $\Delta p/\Delta t$  für die statische Durchflussrate  $Q_{\text{stat}}$ , d.h. für einen Messvorgang  $i$  gilt  $Q_{\text{stat},i} \propto \frac{\Delta p_i}{\Delta t_i}$ . Eine Nachförderung durch die

Hochdruckpumpe sollte hierbei nicht in das relevante Zeitfenster fallen. Eine Nachförderung ist daher ggf. zu unterdrücken.

Da mit den im System verfügbaren Komponenten dieser Ersatzwert für  $Q_{\text{stat}}$  in der Regel nur mit einer gewissen Genauigkeit bestimmt werden kann, ist ein geeignetes Verfahren zur Verfeinerung sinnvoll. Dies kann bspw. durch eine Mittelwertbildung oder andere mathematische Verfahren mittels geeigneter Softwareimplementierung erreicht werden. Der Bestimmungsfehler reduziert sich bei

- 10 -

der Mittelwertbildung mit steigender Anzahl von Einzelmessungen. Somit ergibt

sich also bspw. für n Messvorgänge  $Q_{stat,i} \square \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\Delta p_{i,j}}{\Delta t_{i,j}}$ .

5 Zur Erreichung einer erforderlichen Genauigkeit ist in diesem Fall eine minimale Anzahl von Messungen nötig. Ist die erforderliche Anzahl von Messungen erreicht, so ist eine aussagekräftige Ersatzgröße für den statischen Durchflussrate  $Q_{stat}$  vorhanden.

10 Auf diese Art können für alle Injektoren entsprechende Ersatzgrößen bzw. repräsentative Werte gebildet werden. Weiterhin erfolgt die injektorindividuelle Korrektur zweckmäßigerweise relativ, d.h. die injektorindividuelle Ersatzgröße wird zum Mittelwert der entsprechenden Ersatzgrößen aller Kraftstoffinjektoren als Vergleichswert ins Verhältnis gesetzt. Durch diesen Relativansatz ist das Verfahren unabhängig von bspw. absoluten Fehlern des Drucksensors oder der Kraftstofftemperatur. Auf diese Weise ergibt sich bspw. ein Korrekturwert der Form  $K_i = \frac{Q_{stat,i}}{\bar{Q}_{stat}}$  mit  $\bar{Q}_{stat} = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z Q_{stat,i}$  mit der Zylinder- bzw. Injektoranzahl Z.

15 Hierbei ist auch zu sehen, dass mögliche Proportionalitätsfaktoren oder systematische Messfehler bei der Quotientenbildung wegfallen.

20 Ein globaler Mittelwertersatz der statischen Durchflussrate  $\bar{Q}_{stat}$ , d.h. ein Ersatz des Mittelwerts der statischen Durchflussraten aller Kraftstoffinjektoren der Brennkraftmaschine, wird durch diesen Relativansatz nicht korrigiert und wird, wie dies auch ohne Korrektur der statischen Durchflussrate einzelner Kraftstoffinjektoren möglich ist, bspw. durch die sog. Lambdaregelung bzw. -adaption  
25 kompensiert.

Der Korrekturwert wird nun beispielsweise zur Korrektur der Ansteuerdauer als eine für den Einspritzvorgang charakteristische Soll-Dauer verwendet, indem ein bei der Ermittlung der Ansteuerdauer verwendeter Wert für die statische Durchflussrate mit dem Korrekturwert multipliziert wird. Dies erfolgt bspw. in Form eines Faktors, der in der Rechenkette von Soll-Kraftstoffmenge zu Ansteuerdauer  
30

jedem Kraftstoffinjektor einen eigenen Umrechnungsfaktor zuweist, d.h. es entsteht ein injektorindividueller Wert für die jeweilige statische Durchflussrate.

5 Die beschriebene Korrektur der statischen Durchflussrate liefert besonders genaue Ergebnisse, wenn durch ein unterlagertes Verfahren wie bspw. eine Controlled Valve Operation die Einflüsse der Nadeldynamik minimiert oder zumindest reduziert sind und somit ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen dem eingespritzten Volumen an Kraftstoff und einer messbaren Zeit (Offendauer) vorliegt. Somit können die beiden größten Zumessfehler, nämlich Fehler in der  
10 Nadeldynamik und in der statischen Durchflussrate, mit jeweils eigenen Verfahren physikalisch korrekt kompensiert werden.

Durch eine Kombination beider Verfahren kann eine möglichst optimale Gleichstellung der Zumessgenauigkeit aller Kraftstoffinjektoren bereitgestellt werden.  
15 Bei Systemen mit ausreichend genauer Druck-, Temperatur-, und Mediene erfassung ist auch eine absolute Betrachtung möglich, die keine Korrektur über eine Messung des Kraftstoff-Sauerstoff-Verhältnisses bspw. mittels Lambdaregelung benötigt, wie bereits erwähnt.

20 In Figur 4 ist schematisch ein Ablauf zur Ermittlung einer Ansteuerzeit  $\Delta t''$  für einen Kraftstoffinjektor anhand eines Werts  $Q_{\text{stat}}$  für eine statische Durchflussrate gezeigt. Aus einer Soll-Einspritzmenge  $\Delta V_{\text{soll}}$  und dem, ggf. mit einem ermittelten Korrekturwert korrigierten Wert  $Q_{\text{stat}}$  für die statische Durchflussrate wird eine Soll-Offendauer  $\Delta t'$  für den Kraftstoffinjektor, in einfacher Ausgestaltung gemäß  
25 einem Proportionalitätsgesetz, ermittelt. Aus der Soll-Offendauer  $\Delta t'$  und dem Druck  $p$  im Hochdruckspeicher wird nun, vorzugsweise unter Verwendung von Kennfeldern, die Ansteuerzeit  $\Delta t''$  ermittelt, mit welcher der Kraftstoffinjektor dann angesteuert wird.

30

## 5 Ansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Korrekturwertes für eine Kraftstoffzumessung eines Kraftstoffinjektors (130) einer Brennkraftmaschine (100), bei der mittels des Kraftstoffinjektors (130) Kraftstoff aus einem Hochdruckspeicher (120) in einen Brennraum (105) eingespritzt wird,  
10 wobei ein für eine statische Durchflussrate ( $Q_{\text{stat}}$ ) durch den Kraftstoffinjektor (130) repräsentativer Wert ermittelt wird, indem bei wenigstens einem Einspritzvorgang des Kraftstoffinjektors (130) ein Verhältnis einer im Hochdruckspeicher (120) aufgrund des Einspritzvorgangs auftretender Druckdifferenz ( $\Delta p$ ) und einer zugehörigen, für den Einspritzvorgang charakteristischen Dauer ( $\Delta t$ ) ermittelt wird, und  
15 wobei anhand eines Vergleichs des repräsentativen Wertes mit einem Vergleichswert der Korrekturwert ermittelt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der repräsentative Wert aus bei mehreren Einspritzvorgängen des Kraftstoffinjektors (130) ermittelten Verhältnissen von Druckdifferenz ( $\Delta p$ ) und zugehöriger Dauer ( $\Delta t$ ) ermittelt wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der repräsentative Wert aus einem Mittelwert von bei mehreren Einspritzvorgängen des Kraftstoffinjektors (130) ermittelten Verhältnissen von Druckdifferenz ( $\Delta p$ ) und zugehöriger Dauer ( $\Delta t$ ) ermittelt wird.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Korrekturwert anhand eines Verhältnisses aus dem repräsentativen Wert und einem Mittelwert von entsprechenden repräsentativen Werten aller Kraftstoffinjektoren (130) der Brennkraftmaschine (100) ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Mittelwert der entsprechenden Korrekturwerte aller Kraftstoffinjektoren (130) der Brennkraftmaschine (100) derart eingestellt wird, dass ein gewünschtes Kraftstoff-Sauerstoff-Verhältnis im Abgas nicht verändert wird.  
5
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei bei der Ermittlung der für den Einspritzvorgang des Kraftstoffinjektors (130) charakteristischen Dauer ( $\Delta t$ ) eine Ist-Offendauer, eine Soll-Offendauer, eine Ansteuerzeit und/oder eine Schließzeit des Kraftstoffinjektors (130) berücksichtigt werden.  
10
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Korrekturwert zur Korrektur eines bei der Ermittlung von für den Einspritzvorgang charakteristischen Soll-Dauern verwendeten Werts für die statische Durchflussrate verwendet wird.  
15
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei während des wenigstens einen Einspritzvorgangs einen Druck ( $p$ ) im Hochdruckspeicher (120) erhöhende Vorgänge verhindert werden.  
20
9. Recheneinheit (180), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
10. Computerprogramm, das eine Recheneinheit (180) dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (180) ausgeführt wird.  
25
11. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 10.  
30

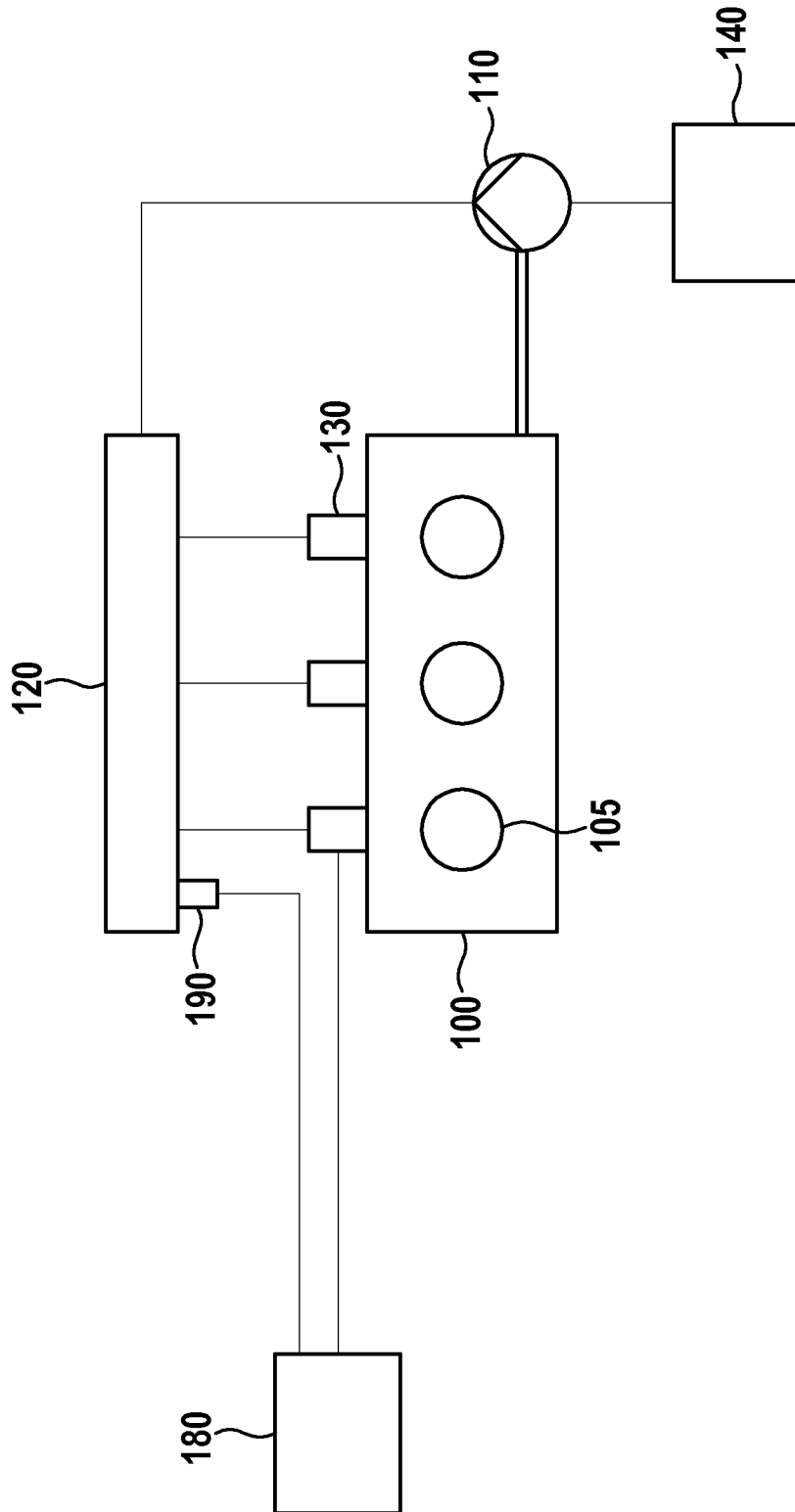


Fig. 1

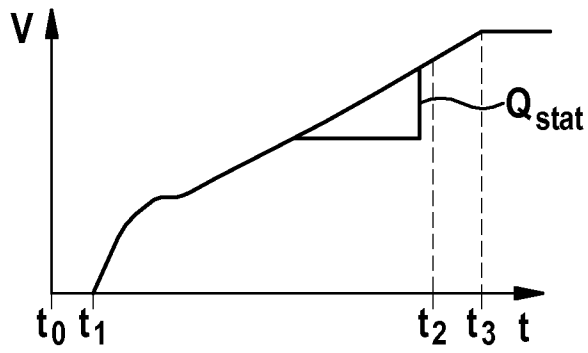


Fig. 2

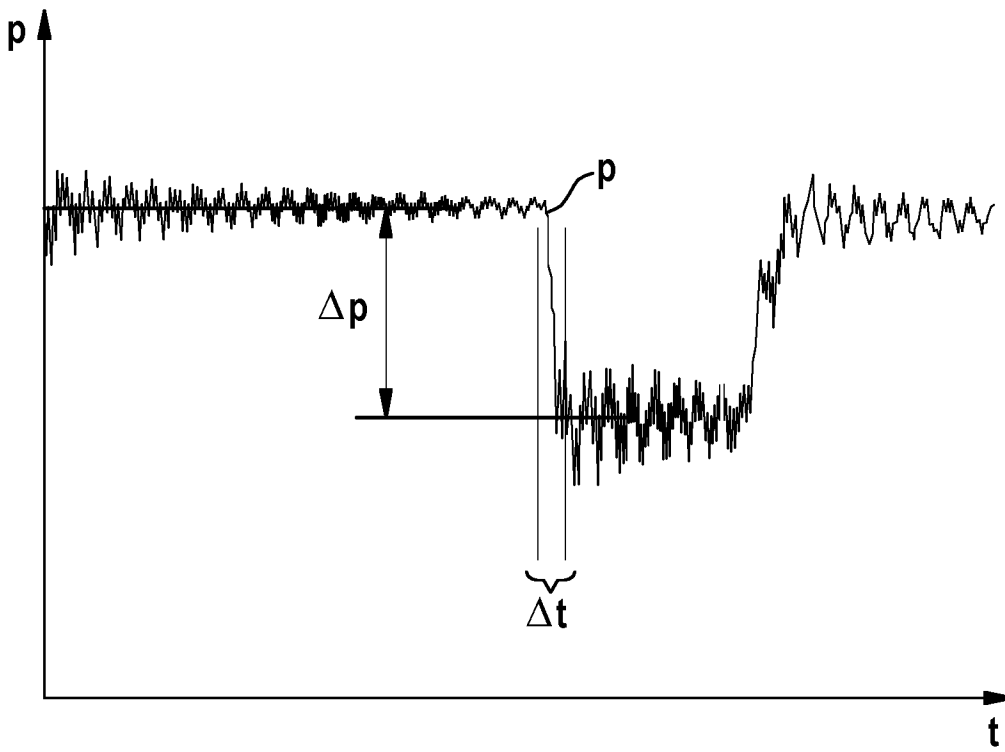


Fig. 3

3 / 3

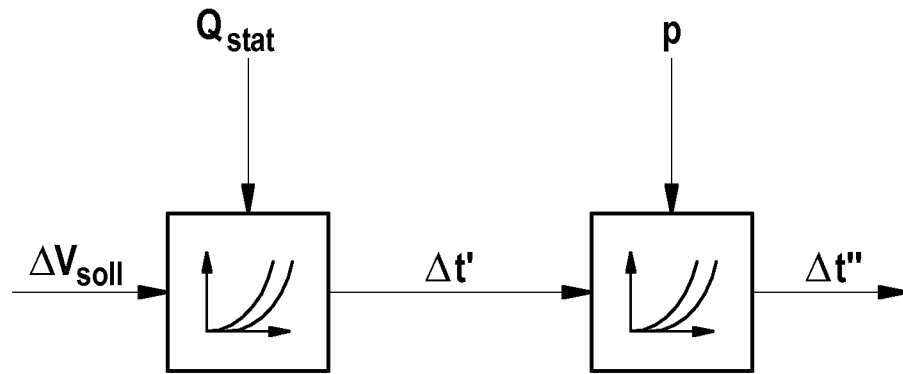


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/054846

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F02D41/24  
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.
X	DE 10 2011 002764 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19 July 2012 (2012-07-19) paragraphs [0006] - [0010] -----	1-11
X	EP 2 184 473 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12 May 2010 (2010-05-12) paragraphs [0004] - [0006], [0008] -----	1-11
X	US 2014/100761 A1 (EMPACHER LARS [DE] ET AL) 10 April 2014 (2014-04-10) paragraphs [0005] - [0007] -----	1-11

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  
12 May 2016

Date of mailing of the international search report  
25/05/2016

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/EP2016/054846

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102011002764 A1	19-07-2012	CN 103299055 A	11-09-2013
		DE 102011002764 A1	19-07-2012
		EP 2665906 A1	27-11-2013
		JP 5762566 B2	12-08-2015
		JP 2014503044 A	06-02-2014
		KR 20140004123 A	10-01-2014
		US 2014007847 A1	09-01-2014
		WO 2012097907 A1	26-07-2012
-----			
EP 2184473 A2	12-05-2010	DE 102008043592 A1	12-05-2010
		EP 2184473 A2	12-05-2010
		US 2010121600 A1	13-05-2010
-----			
US 2014100761 A1	10-04-2014	DE 102012218176 A1	10-04-2014
		US 2014100761 A1	10-04-2014
-----			

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/054846

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. F02D41/24  
 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.
X	DE 10 2011 002764 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 19. Juli 2012 (2012-07-19) Absätze [0006] - [0010]	1-11
X	EP 2 184 473 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12. Mai 2010 (2010-05-12) Absätze [0004] - [0006], [0008]	1-11
X	US 2014/100761 A1 (EMPACHER LARS [DE] ET AL) 10. April 2014 (2014-04-10) Absätze [0005] - [0007]	1-11

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
12. Mai 2016	25/05/2016

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/EP2016/054846

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102011002764 A1	19-07-2012	CN 103299055 A	11-09-2013
		DE 102011002764 A1	19-07-2012
		EP 2665906 A1	27-11-2013
		JP 5762566 B2	12-08-2015
		JP 2014503044 A	06-02-2014
		KR 20140004123 A	10-01-2014
		US 2014007847 A1	09-01-2014
		WO 2012097907 A1	26-07-2012
-----			
EP 2184473 A2	12-05-2010	DE 102008043592 A1	12-05-2010
		EP 2184473 A2	12-05-2010
		US 2010121600 A1	13-05-2010
-----			
US 2014100761 A1	10-04-2014	DE 102012218176 A1	10-04-2014
		US 2014100761 A1	10-04-2014
-----			