

WO 2014/180655 A1

Es wird ein Verfahren zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel eines Einspritzventils eines mehrere Zylinder aufweisenden Verbrennungsmotors, bei dem die Düsennadel durch einen Piezo-Aktuator direkt angesteuert wird, beschrieben. Die Piezo-Spannung und/oder Piezo-Ladung am jeweiligen als Sensor wirkenden Piezo-Aktuator wird für den entsprechenden Einspritzpuls bei mehreren Zylindern des Verbrennungsmotors gemessen, und der Medianwert der gemessenen Spannungs- und/oder Ladungswerte der Piezo-Aktuatoren der mehreren Zylinder für den entsprechenden Einspritzpuls wird berechnet. Der erhaltene Medianwert wird dann als Ersatzwert zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit bei Nicht-Detektierbarkeit oder Störung der Nadelöffnungs- und/oder -schließinformation verwendet.

Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der
Düsennadel eines Einspritzventils

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung
der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel eines Ein-
spritzventils eines mehrere Zylinder aufweisenden Verbren-
nungsmotors, bei dem die Düsennadel durch einen Piezo-Aktuator
10 direkt angesteuert wird.

Bei solchen Einspritzsystemen wird die Düsennadel des jeweiligen
Einspritzventils durch einen Piezo-Aktuator angesteuert. Bei
Anlegen einer elektrischen Spannung an den Piezo-Aktuator
15 vergrößert dieser seine Länge, so dass auf diese Weise eine
Positionssteuerung der Düsennadel des Einspritzventils
durchgeführt werden kann. Für solche Einspritzventile gelten
sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit und Robustheit der
Einspritzmenge unter allen Betriebsbedingungen und über die
20 gesamte Lebensdauer des zugehörigen Fahrzeuges.

Zur Identifikation der Düsennadelposition während des ei-
gentlichen Einspritzvorganges (aktiver Betrieb) werden Feed-
back-Signale aus dem Piezo-Aktuator verwendet. Der
25 Piezo-Aktuator wirkt dabei als Sensor. Diese Informationen
unterliegen jedoch hohen Störgrößeneinflüssen, weil der
Piezo-Aktuator zeitgleich als Aktuator und Sensor verwendet
wird. Störgrößen in Bezug auf das Feedback-Signal des
Piezo-Aktuators werden u.a. durch das Ansteuerprofil der zu-
30 gehörigen Endstufe zur Strombeaufschlagung, durch den Leerhub in
der Kraftübertragung zwischen Piezo-Aktuator und Düsennadel,
durch Reibungseffekte im Bereich der Düsennadel sowie durch das
eigentliche Hubverhalten des Piezo-Aktuators erzeugt. Alle diese
Einflüsse können als Störgrößen auf die Feedback-Signale wirken

und somit zur verfälschten Aufschaltung von Regelgrößen zur Korrektur von Einspritzmengen führen. Diese Einflüsse reduzieren somit die Robustheit der abgeleiteten Regelgrößen und wirken sich daher auch auf die Qualität der Regelgüte aus.

5

Bisher wurde dieses Problem dadurch gelöst, dass die Feed-back-Auswertealgorithmen zur Erfassung der Düsennadelposition verschiedene Schwellwerte aus den elektrischen Signalen der Piezo-Spannung bzw. Piezo-Ladung verwenden, um eine

10 Plausibilisierung der Schließ- bzw. Öffnungsinformation durchzuführen. Allerdings hängt dabei die Robustheit von den gewählten Schwellwerten ab, welche jedoch unter Umständen nicht alle möglichen Ausprägungs- bzw. Fehlerausfälle herausfiltern können und somit zu verbleibenden, nicht zulässigen Restfehlern

15 führen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs wiedergegebenen Art zur Verfügung zu stellen, das im Fehlerfall eine weitgehend genaue Ermittlung der

20 Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel ohne wesentliche Einschränkung des Einspritzbetriebes ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Verfahren der angegebenen Art durch die folgenden Schritte gelöst:

25

a. Messen der Piezo-Spannung und/oder Piezo-Ladung am jeweiligen als Sensor wirkenden Piezo-Aktuator für den entsprechenden Einspritzpuls bei mehreren Zylindern des Verbrennungsmotors;

30

b. Berechnen des Medianwertes der gemessenen Spannungs- und/oder Ladungswerte der Piezo-Aktuatoren der mehreren Zylinder als mittlerer Wert der Zylinder für den entsprechenden Einspritzpuls; und

- c. Verwenden des erhaltenen Medianwertes als Ersatzwert zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit bei Nicht-Detektierbarkeit oder Störung der Nadelöffnungs- und/oder -Schließinformation.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht somit eine Strategie zur Störgrößenunterdrückung und Ersatzwertberechnung der Feedback-Signale vor, um die Robustheit über den Lebenszyklus des Injektorelementes zu erhöhen bzw. zu gewährleisten. Zur Berechnung des Ersatzwertes werden von anderen Zylindern des Verbrennungsmotors erhaltene Informationen benutzt. Im Einzelnen wird dabei eine Plausibilisierung über die Betrachtung der mittleren Verläufe (Median) über mehrere Zylinder des entsprechenden Einspritzpulses durchgeführt. Im Fehlerfall kann somit mit einem Medianersatzwert weiter gerechnet werden, ohne den Einspritzbetrieb wesentlich einzuschränken.

10

15

20

Durch Nutzung dieser Berechnungs- und Plausibilisierungsmethode, die sich durch die Verwendung zusätzlicher Informationsquellen auszeichnet, kann die Robustheit von Einspritzfunktionen und somit der resultierenden Einspritzmenge deutlich gesteigert werden.

25

Erfindungsgemäß erfolgt somit die Berechnung eines Ersatzwertes über den Medianwert mehrerer Zylinder des Verbrennungsmotors und den entsprechenden Einspritzpuls. Bei Nicht-Detektierbarkeit der entsprechenden Nadelpositionsinformation aus dem vorhandenen Signalverlauf oder bei einer entsprechenden Störung desselben wird der ermittelte Ersatzwert aufgeschaltet.

30

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Messung und Medianwertberechnung in Bezug auf alle Zylinder des Verbrennungsmotors durchgeführt werden. Ferner werden bei einem

bevorzugten Verfahren die Messung und Medianwertberechnung für jeden Einspritzpuls durchgeführt. Für die Berechnung des Medianwertes wird somit bei diesen Verfahrensvarianten auf die von sämtlichen Zylindern und sämtlichen Einspritzpulsen gelieferten
5 Informationen zurückgegriffen.

Bei einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante werden aus den gemessen Piezo-Spannungs- und/oder Piezo-Ladungswerten die Piezo-Kapazitäten ermittelt, wird der Medianwert aus den er-
10 mittelten Piezo-Kapazitäten berechnet und wird der erhaltene Medianwert als Ersatzwert verwendet. Auch bei dieser Verfahrensvariante wird daher ein Medianwert, nämlich der Medianwert der Kapazität, als mittlerer Wert mehrerer, insbesondere aller, Zylinder pulsendividuell berechnet. Bei Nicht-Detektierbarkeit
15 oder Störung der Nadelöffnungs- und/oder -Schließinformation wird der ermittelte Medianersatzwert der Kapazität zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsenadel verwendet .

20 Bei noch einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zur Berechnung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsenadel die gemessenen Piezo-Spannungs- und/oder Piezo-Ladungswerte zusätzlich einer Filterfunktion unterzogen. Eine solche Filterfunktion wird zur Störgrößen-
25 Unterdrückung durchgeführt, beispielsweise über eine Polynominterpolation (Polynom Fit) der Rohsignale der Piezo-Spannung und Piezo-Ladung . Hierbei wird beispielsweise eine Abweichung zwischen den Messwerten und Polynom-Fit-Werten festgestellt und bei der Auswertung berücksichtigt, um die
30 entsprechenden Störgrößen zu minimieren.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung im Einzelnen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Prinzipdarstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

Figur 2 eine detailliertere schematische Darstellung des Verfahrens der Figur 1.

Das im Ausführungsbeispiel beschriebene Verfahren findet Verwendung zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel eines Einspritzventils eines mehrere Zylinder aufweisenden Verbrennungsmotors, bei dem die Düsennadel durch einen Piezo-Aktuator direkt angesteuert wird. Gemäß Figur 1 werden in einem ersten Verfahrensschritt die Piezo-Spannung und die Piezo-Ladung am jeweiligen als Sensor wirkenden Piezo-Aktuator für den entsprechenden Einspritzpuls bei allen Zylindern des Verbrennungsmotors gemessen. In einem zweiten Schritt wird der Medianwert der gemessenen Spannungs- und Ladungswerte der Piezo-Aktuatoren der Zylinder als mittlerer Wert aller Zylinder für den entsprechenden Einspritzpuls berechnet. Es wird auf diese Weise ein Ersatzwert gewonnen. Der erhaltene Medianwert wird in Schritt 3 als Ersatzwert zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel verwendet, wenn eine Detektion nicht möglich ist oder eine Störung der Nadelöffnungs- und/oder -Schließinformation vorliegt.

Bei einer alternativen Ausführungsform werden aus den gemessenen Piezo-Spannungs- und Piezo-Ladungswerten die Piezo-Kapazitäten ermittelt (Schritt 4), und es wird der Medianwert aus den ermittelten Piezo-Kapazitäten berechnet. Der erhaltene Medianwert wird dann als Ersatzwert verwendet.

Es erfolgt somit eine Berechnung eines Ersatzwertes über den Median aller Zylinder und für jeden Puls, wobei dieser Ersatzwert bei entsprechender Nicht-Detektierbarkeit oder Störung zur

Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel aufgeschaltet wird.

Figur 2 zeigt eine detailliertere Darstellung für diese
5 Feedback-Ersatzwertberechnung. Gemäß Block 10 werden die entsprechenden Sollwerte für die Schließzeit (Pfad 21), die Öffnungszeit (Pfad 22) und die Kontaktkraft (Pfad 23) der Düsennadel eingegeben. Mit 11, 12 und 13 sind entsprechende Schließzeit-, Öffnungszeit- und Kontaktkraft-Steuereinheiten
10 bezeichnet. Über eine adaptive Vorsteuerungskompensation 14 werden entsprechende Korrekturwerte für die Einspritzzeit, den Einspritzbeginn und die Einspritzenergie eingegeben. Mit 15 ist die entsprechende Regelstrecke für einen Injektor bezeichnet. Entsprechende Störgrößen, die die Regelung beeinflussen, sind
15 mit dem Block 16 angedeutet. Es handelt sich hierbei um interne und/oder externe Störgrößen.

Im Block 18 erfolgt mithilfe einer Entscheidungslogik 17 ein Messen der Piezo-Spannung und Piezo-Ladung des zugehörigen, als
20 Sensor wirkenden Piezo-Aktuators der Injektoren sämtlicher Zylinder für den entsprechenden Einspritzpuls. Aus diesen Werten wird ein Medianwert als mittlerer Wert der Zylinder für den entsprechenden Einspritzimpuls berechnet, der über einen entsprechenden Detektionsalgorithmus als Feedback-Signal 20 für
25 die Schließzeit, Nadelöffnungszeit und Kontaktkraft wieder den Pfaden 21, 22 und 23 zugeführt wird, um als Ersatzwert für die Schließzeit, Öffnungszeit und Kontaktkraft zu fungieren, wenn diese nicht detektierbar sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel eines Einspritzventils eines
5 mehrere Zylinder aufweisenden Verbrennungsmotors, bei dem die Düsennadel durch einen Piezo-Aktuator direkt angesteuert wird, mit den folgenden Schritten:
 - 10 a. Messen der Piezo-Spannung und/oder Piezo-Ladung am jeweiligen als Sensor wirkenden Piezo-Aktuator für den entsprechenden Einspritzpuls bei mehreren Zylindern des Verbrennungsmotors;
 - 15 b. Berechnen des Medianwertes der gemessenen Spannungs- und/oder Ladungswerte der Piezo-Aktuatoren der mehreren Zylinder als mittlerer Wert der Zylinder für den entsprechenden Einspritzpuls; und
 - 20 c. Verwenden des erhaltenen Medianwertes als Ersatzwert zur Ermittlung der Öffnungs- und/oder Schließzeit bei Nicht-Detektierbarkeit oder Störung der Nadelöffnungs- und/oder -Schließinformation.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
25 die Messung und Medianwertberechnung in Bezug auf alle Zylinder des Verbrennungsmotors durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung und Medianwertberechnung für jeden
30 Einspritzpuls durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gemessenen Piezo-Spannungs- und/oder Piezo-Ladungswerten die

Piezo-Kapazitäten ermittelt werden, der Medianwert aus den ermittelten Piezo-Kapazitäten berechnet wird und der erhaltene Medianwert als Ersatzwert verwendet wird.

- 5 5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung der Öffnungs- und/oder Schließzeit der Düsennadel die gemessenen Piezo-Spannungs- und/oder Piezo-Ladungswerte zusätzlich einer Filterfunktion unterzogen werden.

10

15

20

25

30

1/2

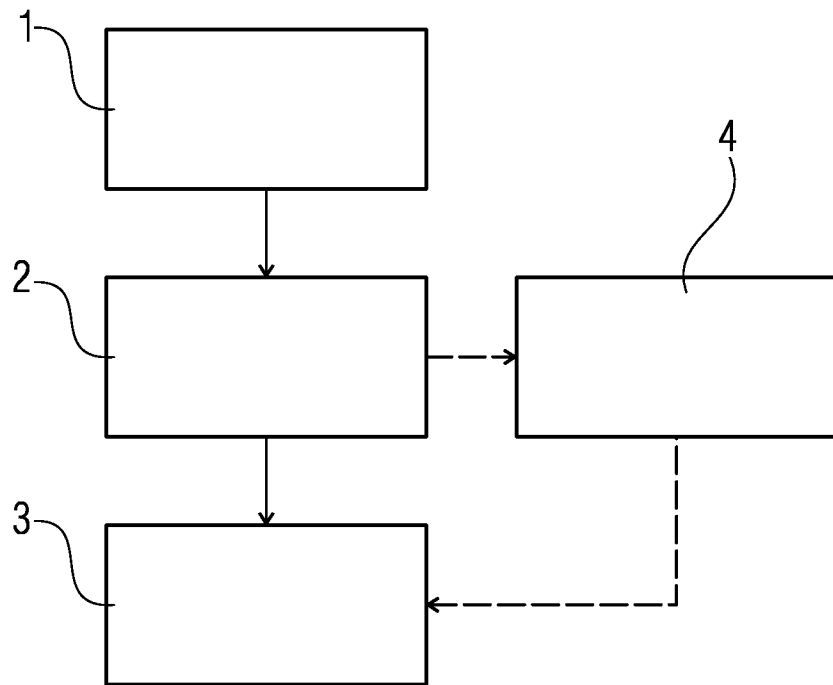


FIG 1

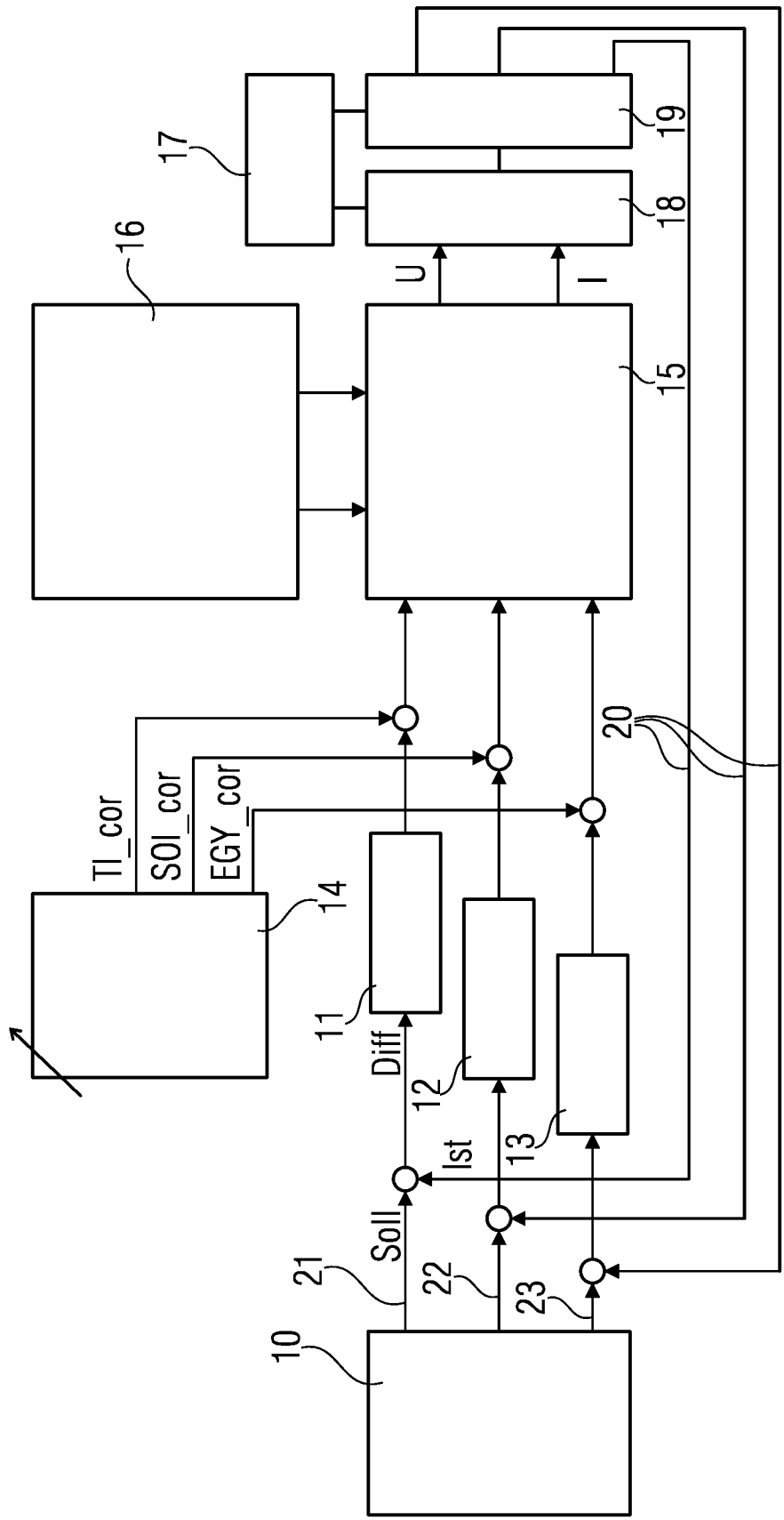


FIG 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/058185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02D41/22 F02D41/40
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

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 075733 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 15 November 2012 (2012-11-15) the whole document	1-5
A	DE 10 2009 000741 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12 August 2010 (2010-08-12) the whole document	1-5
A	DE 10 2005 002242 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20 July 2006 (2006-07-20) the whole document	1-5
	-/-	



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

26 September 2014

Date of mailing of the international search report

07/10/2014

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

Ossanna, Luca

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/058185

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	GALLAGHER N C JR ET AL: "A Theoretical Analysis of the Properties of Median Filters", IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, IEEE INC. NEW YORK, USA, vol . 29, no. 6, 31 December 1981 (1981-12-31) , pages 1136-1141 , XP002580384, ISSN: 0096-3518 the whole document -----	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/058185

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102011075733 AI	15-11-2012	NONE	

DE 102009000741 AI	12-08-2010	CN 102308403 A	04-01-2012
		DE 102009000741 AI	12-08-2010
		EP 2396835 AI	21-12-2011
		JP 5362039 B2	11-12-2013
		JP 2012517556 A	02-08-2012
		KR 20110124226 A	16-11-2011
		US 2012013325 AI	19-01-2012
		Wo 2010091902 AI	19-08-2010

DE 102005002242 AI	20-07-2006	AT 406512 T	15-09-2008
		CN 101103193 A	09-01-2008
		DE 102005002242 AI	20-07-2006
		EP 1841963 AI	10-10-2007
		US 2008125952 AI	29-05-2008
		Wo 2006076992 AI	27-07-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/058185

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F02D41/22 F02D41/40

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoß (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F02D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoß 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

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 075733 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 15. November 2012 (2012-11-15) das ganze Dokument	1-5
A	DE 10 2009 000741 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12. August 2010 (2010-08-12) das ganze Dokument	1-5
A	DE 10 2005 002242 AI (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20. Juli 2006 (2006-07-20) das ganze Dokument	1-5



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

26. September 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/10/2014

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

Ossanna, Luca

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GALLAGHER N C JR ET AL: "A Theoretical Analysis of the Properties of Median Filters", IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, IEEE INC. NEW YORK, USA, Bd. 29, Nr. 6, 31. Dezember 1981 (1981-12-31) , Seiten 1136-1141 , XP002580384, ISSN: 0096-3518 das ganze Dokument -----	1-5

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/058185

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102011075733 AI	15-11-2012	KEINE	
DE 102009000741 AI	12-08-2010	CN 102308403 A	04-01-2012
		DE 102009000741 AI	12-08-2010
		EP 2396835 AI	21-12-2011
		JP 5362039 B2	11-12-2013
		JP 2012517556 A	02-08-2012
		KR 20110124226 A	16-11-2011
		US 2012013325 AI	19-01-2012
		WO 2010091902 AI	19-08-2010
DE 102005002242 AI	20-07-2006	AT 406512 T	15-09-2008
		CN 101103193 A	09-01-2008
		DE 102005002242 AI	20-07-2006
		EP 1841963 AI	10-10-2007
		US 2008125952 AI	29-05-2008
		WO 2006076992 AI	27-07-2006