

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
18. Oktober 2012 (18.10.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/139854 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02M 65/00 (2006.01) *F02D 41/20* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/054799

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. März 2012 (19.03.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 007 393.0
14. April 2011 (14.04.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WIEHOFF, Hans-Jörg**
[DE/DE]; Burgfriedenweg 18, 93051 Regensburg (DE).
LEHNER, Steffen [DE/DE]; Gemmingenstraße 51, 85072
Eichstätt (DE). **BALK, Vera** [DE/DE]; Bühlhartstr.13,
93098 Mintraching (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **CONTINENTAL
AUTOMOTIVE GMBH**; Postfach 22 16 39, 80506
München (DE).

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

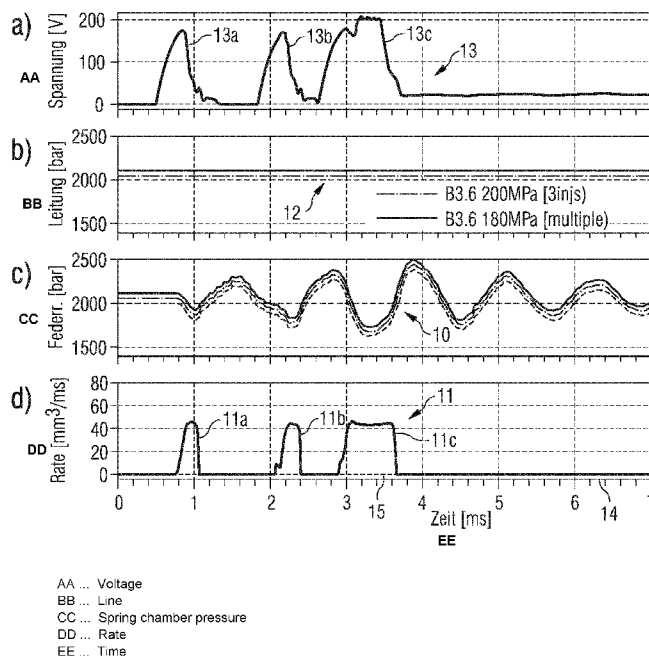
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETECTING A NOZZLE CHAMBER PRESSURE IN AN INJECTOR, AND INJECTION SYSTEM

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR DETEKTION EINES DÜSENRAUMDRUCKS IN EINEM INJEKTOR UND
EINSPRITZSYSTEM

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method for
detecting a nozzle chamber pressure (10) in an injector
which comprises a closure element (5) for opening and
closing an injection opening (4), at least one actuator (7)
which directly actuates the closure element (5), and at least
one sensor (7) for measuring a state (16), which is dependent
on the nozzle chamber pressure (10), of the closure element
(5), wherein at least one measurement variable which is
dependent on the state is detected by means of the sensor (7),
and wherein a deviation of the measurement value (13, 23)
from a predefined value (28) is determined. The invention
also relates to an injection system (100) for carrying out said
method.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein
Verfahren zur Detektion eines Düsenraumdrucks (10) in
einem Injektor (1), der ein Verschlusselement (5) (5) zum
Öffnen und Schließen einer Einspritzöffnung (4), mindestens
einen das Verschlusselement (5) direkt betätigenden
Aktuator (7) und mindestens einen Sensor (7) zum Messen
eines vom Düsenraumdruck (10) abhängigen Zustands (16)
des Verschlusselement (5)s (5) umfasst, wobei mit dem
Sensor (7) mindestens ein Messwert (13, 23) mindestens
einer von dem Zustand abhängigen Messgröße erfasst wird
und wobei eine Abweichung des Messwertes (13, 23) von
einem vorgegebenen Wert (28) bestimmt wird. Die
Erfindung betrifft ferner ein Einspritzsystem (100) zur
Durchführung dieses Verfahrens.

WO 2012/139854 A1



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

Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

Verfahren zur Detektion eines Düsenraumdrucks in einem Injektor und Einspritzsystem

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion eines Düsenraumdrucks in einem Injektor sowie ein Einspritzsystem zum Durchführen dieses Verfahrens.

- 10 Einspritzsysteme, mit denen die Einspritzung von Kraftstoff in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine vorgenommen wird, sind seit langem bekannt. Derartige Einspritzsysteme umfassen mindestens einen Injektor und mindestens eine mit dem Injektor verbundene Steuer- und Regeleinheit zur Steuerung eines Einspritzvorganges. Der Injektor umfasst dabei einen Düsenraum, aus
15 welchem heraus Kraftstoff durch eine Einspritzöffnung in den Brennraum injizierbar ist. Das Öffnen und Schließen der Einspritzöffnung wird mittels eines Verschlusselementes vorgenommen, das von einem Aktuator betätigt, d.h. bewegt werden kann.
20 Der Düsenraum kann mittels einer Hochdruckpumpe über einen Hochdruckspeicher und eine Kraftstoffleitung mit Kraftstoff versorgt werden.

- Ziel moderner Einspritzsysteme ist es, einen möglichst emissions-, verbrauchsarmen und schonenden Betrieb sowie einen hohen Wirkungsgrad bei einer Verbrennung zu gewährleisten. Ein
25 Gemischbildungsprozess und die Verbrennung werden maßgeblich von einem zeitlichen Verlauf einer Einspritzrate beeinflusst. Für einen optimalen Betrieb der Maschine müssen eine Einspritzmenge,
30 eine Einspritzdauer und ein Einspritzzeitpunkt möglichst genau kontrolliert werden.

- Einer solchen genauen Kontrolle stehen jedoch eine Reihe von Störgrößen entgegen. Beispielhaft zu nennen ist der Kraftstoffeingangsdruck am Injektor, der erheblichen Schwankungen
35 unterworfen sein kann. Derartige Schwankungen werden beispielsweise durch Druckschwankungen im Hochdruckspeicher und durch den Einspritzprozess selbst erzeugt und haben einen

nachteiligen Einfluss auf die Kontrolle der Einspritzmenge. Die Schwankungen können in einem gegebenen Betriebszeitraum ein und desselben Injektors auftreten, so dass die Einspritzung in diesem Injektor unregelmäßig erfolgt. Bei Brennkraftmaschinen mit einer Mehrzahl von Injektoren können die Schwankungen in den verschiedenen Injektoren außerdem je unterschiedlich sein, was eine genaue Kontrolle der Einspritzmengen in den verschiedenen Injektoren zusätzlich erschwert. Derartige Unterschiede zwischen den verschiedenen Injektoren können beispielsweise auf unterschiedliche Anordnungen der Kraftstoffleitungen zurückgehen. Sie können sich im Laufe der Zeit aber auch durch je unterschiedliche Abnutzungen in den Injektoren einstellen. Für einen optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine ist es daher erforderlich, die der genauen Kontrolle von Einspritzparametern hinderlichen Störgrößen möglichst genau zu charakterisieren.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, das es gestattet, Störgrößen, die einer genauen Kontrolle von Einspritzparametern, wie beispielsweise einer Einspritzmenge und einem zeitlichen Verlauf einer Einspritzrate, entgegenstehen, mit möglichst großer Genauigkeit und möglichst individuell für jeden einer Mehrzahl von Injektoren zu bestimmen. Ferner soll ein Einspritzsystem entwickelt werden, mit dem ein derartiges Verfahren durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch ein Einspritzsystem gemäß Anspruch 12. Vorteil-hafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Beschrieben wird ein Verfahren zur Detektion eines Düsen-raumdrucks in einem Injektor, der ein Verschlusselement zum Öffnen und Schließen einer Einspritzöffnung, mindestens einen das Verschlusselement direkt betätigenden Aktuator und mindestens einen Sensor zum Messen eines vom Düsenraumdruck abhängigen Zustands des Verschlusselements umfasst, wobei mit dem Sensor mindestens ein Messwert mindestens einer von dem Zustand

abhängigen Messgröße erfasst wird und wobei eine Abweichung des Messwertes von einem vorgegebenen Wert bestimmt wird.

Ein Einspritzsystem, das eingerichtet ist, ein Verfahren zur
5 Detektion eines Düsenraumdrucks in einem Injektor durchzuführen,
umfasst mindestens einen Injektor, der ein Verschlusselement zum
Öffnen und Schließen einer Einspritzöffnung, mindestens einen
das Verschlusselement direkt betätigenden Aktuator und min-
destens einen Sensor zum Messen eines von einem Düsenraumdruck
10 abhängigen Zustands des Verschlusselements aufweist, sowie eine
Steuer- und Regeleinheit.

Vorzugsweise handelt es sich um ein Einspritzsystem, wie es in
Brennkraftmaschinen von Kraftfahrzeugen zum Einsatz kommt. Das
15 Verfahren und das Einspritzsystem können aber in beliebigen
Brennkraftmaschinen zur Anwendung und zum Einsatz kommen. Bei dem
Verschlusselement handelt es sich vorzugsweise um eine Dü-
sennadel, die eingerichtet ist, die Einspritzöffnung wiederholt
zu öffnen und zu verschließen und damit das Einspritzen von
20 Kraftstoff in einen Brennraum zu kontrollieren. Bei dem Aktuator
handelt es sich um ein Element zum Bewegen des Verschluss-
elements. Damit wird ein Einspritzvorgang mittels des Aktuators
gesteuert. Die erfindungsgemäße direkte Betätigung des Ver-
schlusselements liegt dann vor, wenn der Aktuator und das
25 Verschlusselement in direktem mechanischen Kontakt sind oder
wenn sie über feste Körper miteinander verbunden sind, so dass
eine von dem Aktuator auf das Verschlusselement ausgeübte Kraft
auf das Verschlusselement übertragen wird. Die festen Körper
sollen ihre Höhe, Breite oder Länge unter einer maximalen
30 Belastung während des Betriebes höchstens um ein Prozent,
vorzugsweise um höchstens ein Promille ändern. Dabei können sich
eine Richtung und ein Betrag der Kraft, beispielsweise infolge
einer Übertragung durch einen Hebel, durchaus ändern. Ent-
scheidend ist, dass keine hydraulische oder pneumatische
35 Kopplung zwischen dem Aktuator und dem Verschlusselement
vorliegt. Vorzugsweise sind auch das Verschlusselement und der
Sensor in dem oben beschriebenen Sinne direkt gekoppelt.

Mit dem vorliegend beanspruchten Verfahren und dem vorliegend beanspruchten Einspritzsystem ist es möglich, Schwankungen des Düsenraumdruckes direkt im Düsenraum zu detektieren, wo sie den Einspritzvorgang unmittelbar beeinflussen. Basierend auf einer
5 genauen Kenntnis dieser Schwankungen ist es möglich, eine Einspritzmenge, eine Einspritzdauer, einen Einspritzzeitpunkt oder andere für den Einspritzvorgang maßgebliche Parameter derart gezielt zu verändern, dass die Schwankungen des Düsenraumdruckes kompensiert werden.

10

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden der Aktuator und der Sensor von mindestens einem das Verschlusselement direkt betätigenden Piezoaktuator umfasst. Mit anderen Worten bilden der Aktuator und der Sensor eine bauliche Einheit
15 in Form eines Piezoaktors. Je nach Betriebsart, kann der Piezoaktuator sowohl in einem Aktuatorbetrieb als auch in einem Sensorbetrieb betrieben werden. Durch Beaufschlagung des Piezoactuators mit einer Steuerspannung oder mit einem Steuerstrom wird der Piezoaktuator im Aktuatorbetrieb betrieben.
20 Infolge des inversen piezoelektrischen Effekts kann er seine Ausdehnung ändern und im Aktuatorbetrieb eine Änderung einer Position des Verschlusselements bewirken. Die Steuerspannung und der Steuerstrom können zeitlich konstant oder zeitlich veränderlich sein. Typische Werte eines Absolutbetrages der
25 Steuerspannung betragen bis zu 1 kV, vorzugsweise bis zu 200 V. Typische Werte eines Absolutbetrages des Steuerstroms betragen bis zu 20 A, vorzugsweise bis zu 10 A. Derselbe Piezoaktuator kann im Sensorbetrieb betrieben werden, indem der mit dem
Piezoaktuator oder an dem Piezoaktuator erfasste Messwert der
30 Messgröße über den piezoelektrischen Effekt von dem Zustand des Verschlusselements abhängt. Der Piezoaktuator kann simultan im Aktuatorbetrieb und im Sensorbetrieb betrieben werden. Er kann aber auch jeweils nur im Aktuatorbetrieb oder nur im Sensorbetrieb betrieben werden. Damit bedarf es keines zusätzlichen
35 Sensors, so dass Material- und Montagekosten reduziert werden. Eine Länge des Piezoactuators kann mit einer Genauigkeit im Nanometerbereich eingestellt werden, und mit einer zeitlichen Präzision im Mikrosekundenbereich. Mit einer vergleichbaren

zeitlichen Präzision können mit dem Piezoaktuator Druckunterschiede im Düsenraum von weniger als einem bar bestimmt werden.

- 5 Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfasst die Messgröße eine oder mehrere der folgenden Größen und/oder eine aus einer oder mehreren der folgenden Größen abgeleitete Größe:
- eine an dem Sensor anliegende elektrische Spannung,
 - 10 - eine in dem Sensor gespeicherte und/oder auf den Sensor geflossene elektrische Ladung,
 - einen durch den Sensor fließenden und/oder auf den Sensor geflossenen elektrischen Strom,
 - eine Kapazität des Sensors,
 - 15 - eine in dem Sensor gespeicherte und/oder auf den Sensor geflossene oder von dem Sensor abgeflossene Energie.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird eine Endstufe des im Sensorbetrieb betriebenen

20 Piezoaktuator zum Erfassen des Messwertes hochohmig betrieben. Mit anderen Worten wird die Endstufe zum Erfassen des Messwertes nicht kurzgeschlossen, so dass sie stromlos betrieben wird. Vorzugsweise erfolgt das Erfassen des Messwertes dabei in einem nicht vollständig entladenen Zustand des Piezoaktuator. Auf

25 diese Weise wird eine an dem Piezoaktuator abfallende Spannung erhöht und eine Präzision einer mit dem oder an dem Piezoaktuator durchgeführten Messung der Messgröße erhöht.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der Messwert während einer Ladephase des Piezoaktuator bzw. Piezosensors bzw. eines anderen Sensors und/oder während einer

30 Haltephase des Piezoaktuator und/oder während einer Entladephase des Piezoaktuator und/oder zwischen aufeinander folgenden Einspritzvorgängen erfasst. Dabei ist die Ladephase ein Zeitintervall, innerhalb dessen der Piezoaktuator seine

35 Länge kontinuierlich vergrößert. Entsprechend ist die Entladephase ein Zeitintervall, innerhalb dessen der Piezoaktuator seine Länge kontinuierlich verkürzt. Die Hal-

tephase ist ein Zeitintervall, innerhalb dessen der Piezoaktuator seine Länge nicht verändert, wobei eine in dem Piezoaktuator gespeicherte Ladung einen Mindestwert annehmen soll. Damit ist der Sensor bzw. Piezoaktuator besonders flexibel
5 einsetzbar und es können Messungen während einer beliebigen Phase eines Einspritzvorganges und/oder eines Kolbenzyklus vorgenommen werden. Auf diese Weise kann eine größtmögliche Menge von Informationen über einen zeitlichen Verlauf des Düsenraumdrucks gesammelt werden.

10

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung umfasst der Zustand des Verschlusselements eine Position des Verschlusselements und/oder eine Geschwindigkeit des Verschlusselements und/oder eine Beschleunigung des Verschlusselements und/oder oder eine von dem Verschlusselement auf den
15 Sensor übertragene Kraft und/oder eine zeitliche Änderung der von dem Verschlusselement auf den Sensor übertragenen Kraft. Damit kann zur Detektion des Düsenraumdrucks derjenige Zustand des Verschlusselements verwendet werden, der eine größtmögliche
20 Genauigkeit oder Zuverlässigkeit der Messung gewährleistet.

25

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird beim Bestimmen der Abweichung zusätzlich eine Winkelposition eines Kolbens eines dem Injektor zugeordneten Zylinders erfasst. Zusätzlich können auch eine Temperatur des Injektors und/oder eine Drehzahl des Motors und/oder eine von dem Injektor injizierte Einspritzmenge und/oder eine Einspritzdauer und/oder eine Anzahl von Einspritzungen pro Kolbenzyklus und/oder ein Druck im Hochdruckspeicher erfasst werden. Die Winkelposition
30 bestimmt eine Phase einer zyklischen Kolbenbewegung und definiert eine Position des Kolbens im Zylinder. Durch eine möglichst umfassende Kenntnis dieser Parameter ist es möglich, eine Abhängigkeit des Düsenraumdrucks von diesen Parametern für eine Optimierung des Einspritzvorganges zu nutzen.

35

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der vorgegebene Wert durch einen in einem Hochdruckspeicher erfassten und/oder durch einen in Abhängigkeit von einem Mo-

torzustand von einer Steuereinheit angeforderten Systemdruck gegeben. Zur Bestimmung der Abweichung wird dazu zweckmäßigerweise entweder der Messwert in einen Druckwert oder der Systemdruck in einen entsprechenden Systemmesswert umgerechnet,
5 der eine gleiche physikalische Dimension hat wie der Messwert.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird basierend auf der Abweichung des Messwertes von dem vorgegebenen Wert eine Korrektur einer Ansteuerung des Injektors
10 vorgenommen. Dabei kann die Korrektur eine Änderung einer Einspritzdauer und/oder eines Einspritzzeitpunktes und/oder einer Auslenkung des Verschlusselements und/oder eines zeitlichen Verlaufs der Auslenkung des Verschlusselements während eines Einspritzvorganges umfassen. Auch kann die Korrektur
15 in Abhängigkeit einer Winkelposition eines Kolbens eines dem Injektor zugeordneten Zylinders und/oder einer Motordrehzahl und/oder einer Temperatur des Injektors und/oder einer Geometrie einer Kraftstoffzuführung in den Injektor und/oder einer Geometrie des Injektors und/oder einer Anordnung der Hochdruckpumpe und/oder einer Pumprate der Hochdruckpumpe vorgenommen werden. Durch eine Berücksichtigung möglichst vieler den Düsenraumdruck und den Einspritzprozess beeinflussenden Parameter kann dieser Prozess besonders effizient optimiert werden.

25

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Abbildungen dargestellt und werden in der folgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

30 Fig. 1 schematisch ein Einspritzsystem mit einem Injektor und mit einer Steuer- und Regeleinheit,

Fig. 2 bezogen auf das Einspritzsystem aus Fig. 1 einen simulierten zeitlichen Verlauf einer
35 Piezoaktuatorspannung, eines Kraftstoffdrucks vor einem Düsenraum, eines Düsenraumdrucks sowie einer Einspritzrate,

Fig. 3 wie Fig. 2, jedoch mit einer vergrößerten Darstellung der Piezoaktuatorspannung,

Fig. 4 bezogen auf das Einspritzsystem aus Fig. 1 einen gemessenen zeitlichen Verlauf eines Leitungsdrucks unmittelbar vor dem Düsenraum, eines Steuerstroms und einer Aktuatorspannung,

Fig. 5 eine vergrößerte Darstellung eines Abschnitts des Leitungsdrucks und der Aktuatorspannung aus Fig. 4, und

Fig. 6 schematisch das Einspritzsystem aus Fig. 1, wobei Details der Steuer- und Regeleinheit schematisch dargestellt sind.

Fig. 1 zeigt ein Einspritzsystem 100, welches einen Injektor 1 und eine Steuer- und Regeleinheit 2 aufweist. Das Einspritzsystem 100 kommt beispielsweise in einem Dieselmotor eines Pkw zum Einsatz. Der Injektor 1 ist eingerichtet, Kraftstoff in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine einzuspritzen. Der Injektor 1 hat eine Länge von ca. 15 cm und ist beispielsweise aus Keramik, Metall und Kunststoff gefertigt. Der Injektor 1 umfasst einen Düsenraum 3, der über eine hier nicht dargestellte Kraftstoffleitung mit einem Hochdruckspeicher verbunden ist. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Injektor 1 handelt es sich um einen einer Mehrzahl von Injektoren, die in einem Common-Rail-System jeweils über Kraftstoffleitungen mit demselben Hochdruckspeicher verbunden sind. Am unteren Ende des Injektors 1 weist dieser eine Einspritzöffnung 4 auf, durch welche hindurch Kraftstoff, z.B. Dieseldieselkraftstoff, aus dem Düsenraum 3 in den Brennraum injiziert werden kann.

In dem Düsenraum 3 ist eine aus Metall gefertigte Düsennadel 5 angeordnet, mittels welcher die Einspritzöffnung 4 geöffnet und geschlossen werden kann. Die Düsennadel 5 stellt ein Verschlusselement dar. Die Einspritzöffnung 4 ist rund und hat einen Durchmesser von 0.4 mm. Befindet sich die Düsennadel 5 in einer

geöffneten Position, in welcher sie die Einspritzöffnung 4 freigibt, so wird unter Hochdruck stehender Kraftstoff aus dem Düsenraum 3 in die Brennkammer eingespritzt. In einer geschlossenen Position der Düsennadel 5, in welcher die Düsennadel 5 die Einspritzöffnung 4 verschließt, wird das Einspritzen von Kraftstoff in die Brennkammer unterbunden.

Die Düsennadel 5 wird mittels einer im oberen Abschnitt des Düsenraums 3 angeordneten Schließfeder 6 und mittels eines die Düsennadel 5 direkt betätigenden Piezoaktuators 7 gesteuert, der elektrisch mit der Steuer- und Regeleinheit verbunden ist. Die Steuer- und Regeleinheit 2 ist eingerichtet, den Piezoaktor 7 mit einer Steuerspannung oder mit einem Steuerstrom zu beaufschlagen. Abhängig von einer Ansteuerung durch die Steuer- und Regeleinheit 2 kann der Piezoaktor 7 seine Länge verändern und eine Kraft auf die Düsennadel 5 ausüben, wobei die Kraft über einen in der Fig. 1 verdeckten Pin, über eine Glocke 8 und über Hebel 9 auf die Düsennadel 5 übertragbar ist. Über den Pin, die Glocke 8 und die Hebel 9 sind der Piezoaktor 7 und die Düsennadel 5 unmittelbar mechanisch gekoppelt. Mit anderen Worten ist der Piezoaktor 7 in direktem Kontakt mit dem Pin, der Pin ist in direktem Kontakt mit der Glocke 8, die Glocke 8 ist in direktem Kontakt mit den Hebeln 9 und die Hebel 9 sind in direktem Kontakt mit der Düsennadel 5. Dabei handelt es sich bei dem Pin, bei der Glocke 8 und den Hebeln 9 jeweils um feste Körper, die aus Metall gefertigt sind.

Vermittelt durch den Pin, die Glocke 8 und die Hebel 9 wird eine von dem Piezoaktor 7 ausgeübte Kraft daher direkt auf die Düsennadel 5 übertragen. Mit anderen Worten betätigt der Piezoaktor 7 die Düsennadel 5 direkt. Umgekehrt wirkt eine von der Düsennadel 5 ausgeübte mechanische Kraft in demselben Sinne direkt auf den Piezoaktor 7. Wird der Piezoaktor 7 nicht von der Steuer- und Regeleinheit 2 mit der Steuerspannung oder mit dem Steuerstrom beaufschlagt, so drückt die Schließfeder 6 die Düsennadel 5 in der Fig. 1 nach unten, so dass diese die Einspritzöffnung 4 gegen den Düsenraumdruck 10 (siehe Fig. 2) im Düsenraum 3 verschließt und eine Einspritzung unterbindet.

Infolge der Beaufschlagung des Piezoaktuators 7 mit der Steuerspannung oder mit dem Steuerstrom ist der Piezoaktor 7 eingerichtet, vermittelt durch den Pin, die Glocke 8 und die Hebel 9 eine Kraft auf die Düsennadel 5 auszuüben, die einer von der Schließfeder 6 auf die Düsennadel 5 ausgeübten Kraft entgegengesetzt ist. Mit anderen Worten bewirkt der Piezoaktor 7 das Öffnen und Schließen der Einspritzöffnung 4 mittels der Düsennadel 5.

- 10 Im Folgenden soll ein Verfahren zur Detektion des Düsenraumdrucks in dem Injektor 1 beschrieben werden. Der Düsenraumdruck wird vornehmlich durch eine Hochdruckpumpe hervorgerufen, welche den Düsenraum 3 über den Hochdruckspeicher und die Kraftstoffzu-
- 15 leitung mit Kraftstoff versorgt. Typischerweise beträgt der Druck des Kraftstoffs im Düsenraum bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel zwischen 1500 und 2500 bar. Der Druck des Kraftstoffs im Düsenraum beträgt mindestens 150 bar.

- In der hier beschriebenen Ausführungsform der Erfindung umfasst
- 20 der die Düsennadel 5 direkt betätigende Piezoaktor 7 sowohl einen Aktuator als auch einen Sensor, indem der Piezoaktor 7 sowohl im Aktuatorbetrieb als auch im Sensorbetrieb betrieben wird. Schwankungen des Düsenraumdrucks 10 im Düsenraum 3 werden in Form von entsprechenden Schwankungen einer Kraft 16 über die
- 25 Düsennadel 5, die Hebel 9, die Glocke 8 und den Pin auf den Piezoaktor 7 übertragen und können von oder an dem Piezoaktor 7 gemessen werden. Eine mittels der Düsennadel 5 auf den Piezoaktor 7 übertragene Kraft 16 oder eine Änderung derselben stellen dabei einen Zustand der Düsennadel 5 dar, der
- 30 von dem Düsenraumdruck 10 abhängt. Auch eine Position, eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung der Düsennadel 5 sind jeweils Beispiele für Zustände der Düsennadel 5, die von dem Düsenraumdruck 10 abhängen.

- 35 Die von der Düsennadel 5 auf den Piezoaktor 7 übertragene Kraft 16 und/oder Änderungen derselben induzieren über den piezoelektrischen Effekt eine an dem Piezoaktor 7 anliegende elektrische Spannung 13 (siehe Fig. 2), der eine in Gestalt

mindestens eines Messwertes von oder an dem Piezoaktuator 7 erfassbare Messgröße darstellt. Die Spannung 13 hängt von dem Zustand der Düsennadel 5 ab. Ebenso beeinflusst die von der Düsennadel 5 auf den Piezoaktuator 7 übertragene Kraft 16 oder eine Änderung derselben in oder an dem Piezoaktuator 7 eine in dem Piezoaktuator gespeicherte elektrische Ladung und/oder eine auf den Piezoaktuator 7 geflossene elektrische Ladung und/oder einen durch den Piezoaktuator 7 fließenden elektrischen Strom und/oder einen auf den Piezoaktuator 7 geflossenen elektrischen Strom und/oder eine Kapazität des Piezoaktuator 7 und/oder eine in dem Piezoaktuator 7 gespeicherte Energie und/oder eine auf den Piezoaktuator 7 geflossene Energie und/oder eine von dem Piezoaktuator 7 abgeflossene Energie. Auch bei den letztgenannten Größen handelt es sich jeweils um mit oder an dem Piezoaktuator 7 in Gestalt mindestens eines Messwertes erfassbare Messgrößen, die jeweils von dem Zustand der Düsennadel 5 abhängen. Auch zeitliche Änderungen dieser Messgrößen und/oder aus einer oder mehreren dieser Messgrößen mathematisch abgeleitete Größen sollen Messgrößen im Sinne der vorliegenden Erfindung sein. Auch sie hängen von dem Zustand der Düsennadel 5 ab.

Bei einer alternativen Ausführungsform kann der Aktuator beispielsweise durch einen magnetischen Aktuator gegeben sein. Der Sensor kann als magnetischer Sensor oder als druckresistiver Sensor ausgebildet sein. Beispielsweise können der magnetische Aktuator an Stelle des Piezoaktuator 7 und der Sensor an Stelle oder integriert in die Glocke 8 verwendet werden.

Fig. 2 zeigt eine Simulation eines zeitlichen Verlaufs des Düsenraumdrucks 10 (Fig. 2c)) im Düsenraum 3 des Injektors 1 und einer Einspritzrate 11 (Fig. 2d)), mit welcher Kraftstoff aus dem Düsenraum 3 des Injektors 1 durch die Einspritzöffnung 4 in den Brennraum injiziert wird. Der Düsenraumdruck 10 wird auch als Federraumdruck bezeichnet. Die Zeit ist auf der Abszissenachse 14 dargestellt und umfasst vorliegend ein Zeitintervall von 7 ms. Bestimmt werden der zeitliche Verlauf des Düsenraumdrucks 10 und der Einspritzrate 11 durch einen hier jeweils als konstant

angenommenen Leitungsdruck 12 (Fig. 2b)) und durch eine an dem Piezoaktuator 7 anliegende Spannung 13 (Fig. 2a)). Der Leitungsdruck 12 stellt einen Druck in einem vor dem Injektor gelegenen Punkt der Kraftstoffzuleitung dar, über welche der
5 Düsenraum 3 mit dem Hochdruckspeicher verbunden ist und mit Kraftstoff versorgt wird. Die Spannung 13 ist eine Überlagerung einer Steuerspannung und einer Sensorspannung und ist durch eine zeitliche Folge einer Mehrzahl von Spannungswerten gegeben, die jeweils mit dem Piezoaktuator 7 oder an dem Piezoaktuator 7
10 erfassbare Messwerte darstellen.

Dabei ist die Steuerspannung diejenige Spannung, mit welcher der Piezoaktuator 7 in seiner Eigenschaft als Aktuator von der Steuer- und Regeleinheit 2 zur Steuerung einer Bewegung der
15 Düsennadel 5 und damit zur Steuerung der Einspritzrate 11 beaufschlagt wird. In dem vorliegenden Beispiel wird der Verlauf der Spannung 13 maßgeblich durch die Steuerspannung bestimmt, die zu einem ersten Zeitpunkt 15 bei etwa 3.2 ms einen maximalen Wert von etwa 200 V annimmt. Die Sensorspannung dagegen ist diejenige
20 Spannung, welche durch den piezoelektrischen Effekt über die von der Düsennadel 5 auf den Piezoaktuator 7 übertragene Kraft 16 oder eine zeitliche Änderung derselben (angedeutet in Fig. 1) in dem Piezoaktuator 7 in seiner Funktion als Sensor induziert wird.

25 Fig. 3 zeigt dieselben zeitlichen Verläufe wie Fig. 2, wobei wiederkehrende Merkmale mit identischen Bezugszeichen versehen sind. Jedoch sind in Fig. 3 Werte der Spannung 13 in einem vergrößerten Maßstab dargestellt. Damit sind auf Schwankungen der Sensorspannung zurückgehende Oszillationen der Spannung 13
30 mit einer Amplitude 17 von etwa 5 V besonders gut zu erkennen. Siehe dazu das Zeitintervall zwischen einem zweiten Zeitpunkt 18 bei etwa 3.8 ms und einem dritten Zeitpunkt 19 bei 7 ms. Die bei dem hier beschriebenen Verfahren in vorteilhafter Weise besonders ausgeprägte Korrelation zwischen Schwingungen des
35 Düsenraumdrucks 10 und der am Piezoaktuator 7 anliegenden Spannung 13 – und dabei insbesondere des Anteils der Sensorspannung an der Spannung 13 – kann wiederum dem zwischen dem zweiten Zeitpunkt 18 bei etwa 3.8 ms und dem dritten Zeitpunkt

19 bei 7 ms gelegenen Zeitintervall entnommen werden. So fallen beispielsweise die Maxima 20a und 22a der Spannung 13 mit den Maxima 20c und 22c des Düsenraumdrucks 10 unmittelbar zusammen. Das gleiche gilt für das Minimum 21a der Spannung 13 und das
5 Minimum 21c des Düsenraumdrucks 10. Bei Anwendung des vorliegend beschriebenen Verfahrens sind Schwingungen des Düsenraumdrucks 10 also mit besonders großer Genauigkeit mittels des Piezoaktuators 7 erfassbar.

10 Die Steuerspannung und die Sensorspannung, die sich in der Spannung 13 überlagern, können im Zuge einer Auswertung der Messwerte beispielsweise durch nachträgliche Anwendung eines Frequenzfilters getrennt werden. Mit anderen Worten kann bei der Auswertung der Messwerte ein Frequenzfilter verwendet werden.
15 Dabei kann es sich um einen Hochpassfilter, einen Tiefpassfilter oder um einen Bandpassfilter handeln. Die Druckschwingungen im Düsenraum 3, die es bei dem hier beschriebenen Verfahren zu detektieren gilt, treten nämlich vorzugsweise in einem Druckwellenfrequenzbereich auf. Dieser Druckwellenfrequenz-
20 bereich kann von einer Geometrie des Düsenraumes 3, von einer Dichte, einer Temperatur oder einer Viskosität des Kraftstoffes, von der Einspritzrate, von einem mittleren Düsenraumdruck oder von einer Geometrie der Kraftstoffzuleitung in den Injektor 1 abhängen.

25 Eine Endstufe des Piezoaktuators 7 wird zur Bestimmung der Messwerte der Spannung 13 im Sensorbetrieb vorliegend vorzugsweise hochohmig betrieben. Zu diesem Zweck wird die Endstufe nicht kurzgeschlossen, so dass der Piezoaktor 7 stromlos
30 betrieben wird. Auf diese Weise kann ein durch Schwingungen des Düsenraumdrucks 10 verursachter Spannungsabfall an dem Piezoaktor 7 erhöht und mit größerer Genauigkeit bestimmt werden.

35 In Fig. 2 ist deutlich zu erkennen, dass im Aktuatorbetrieb des Piezoaktuators 7 an dem Piezoaktor 7 anliegende Pulse 13a, 13b und 13c jeweils Einspritzungen 11a, 11b und 11c bewirken, indem die Düsennadel 5 infolge der Pulse 13a, 13b und 13c jeweils aus

einer die Einspritzöffnung 4 verschließenden in eine die Einspritzöffnung 4 freigebenden Position bewegt wird. Eine Bewegung der Düsennadel 5 zurück in die die Einspritzöffnung 4 verschließende Position wird durch die Schließfeder 6 bewerkstelligt. Schultern an rechten Flanken der Pulse 13a, 13b und 13c entstehen dadurch, dass die Kraft 16, die die Düsennadel 5 auf den Piezoaktuator 7 überträgt und in diesem eine positive Sensorspannung induziert, kurzzeitig ansteigt, wenn die Düsennadel 6 beim Verschließen des Düsenraumes 3 auf die Einspritzöffnung 4 aufschlägt. Zu erkennen ist ebenso, dass der Düsenraumdruck 10 mit einem Einsetzen der Einspritzungen 11a, 11b und 11c jeweils um einige Hundert bar einbricht. Das Öffnen und Schließen der Düsennadel 5 ruft die in Fig. 2c) dargestellten Schwingungen des Düsenraumdrucks 10 hervor. Nach der letzten erfolgten Einspritzung 11c klingen die Schwingungen des Düsenraumdrucks 10 langsam ab. Siehe dazu den Düsenraumdruck 10 jenseits von etwa 4 ms.

Den Fig. 2 und 3 ist zu entnehmen, dass die zeitliche Folge von Messwerten, welche die an dem Piezoaktuator 7 anliegende Spannung 13 bilden, zu einem beliebigen Zeitpunkt erfasst werden kann. Beispielsweise kann ein Messwert zwischen zwei Einspritzvorgängen, während einer Ladephase des Piezoaktuators, während einer Haltephase des Piezoaktuators oder während einer Entladephase des Piezoaktuators erfasst werden. Dabei erstreckt sich ein Einspritzvorgang über ein Zeitintervall, innerhalb dessen die Einspritzrate 11 einen Mindestwert, beispielsweise $2 \text{ mm}^3/\text{ms}$, überschreitet. Die in Fig. 2d) gezeigten Pulse 11a, 11b und 11c der Einspritzrate 11 stellen jeweils Einspritzvorgänge dar.

In Fig. 4 sind ein zeitlicher Verlauf einer an dem Piezoaktuator 7 gemessenen Aktuatorspannung 23 (Fig. 4c)), eines Steuerstromes 24 (Fig. 4b)) und eines Leitungsdrucks 25 (Fig. 4a)) dargestellt, wobei der Leitungsdruck 25 unmittelbar vor dem Injektor 1 bestimmt wurde. Der Leitungsdruck 25 gibt damit in etwa den Düsenraumdruck im Düsenraum 3 des Injektors wieder. Auf einer Abszissenachse 26 ist wiederum die Zeit in einem Zeitintervall

von etwa 6 ms Länge aufgetragen. Zu erkennen ist, dass eine ansteigende Flanke 23a und eine absteigende Flanke 23b eines Pulses der Aktuatorspannung 23 jeweils mit einem auf den Piezoaktuator 7 fließenden positiven Ladestrom 24a und mit einem
5 von dem Piezoaktuator abfließenden negativen Ladestrom 24b einhergehen. Ein größter Wert der Aktuatorspannung 23 beträgt ca. 120 V. Der Steuerstrom 24 nimmt Werte zwischen -6 A und +10 A an.

Der Puls der Aktuatorspannung 23 bringt die Düsenadel 5 in eine
10 die Einspritzöffnung 4 freigebende Position und bewirkt damit eine Einspritzung. Zu einem vierten Zeitpunkt 27 bei 2 ms ist die Einspritzung abgeschlossen. Infolge des Einspritzprozesses breitet sich im Düsenraum 3 eine Druckwelle aus, so dass der Leitungsdruck 25 mit einer Amplitude von etwa 400 bar um einen
15 mittleren Leitungsdruck von etwa 2000 bar schwankt. Da keine weitere Einspritzung vorgenommen wird, wird die Druckwelle zu größeren Zeiten hin merklich gedämpft.

Fig. 5 zeigt die Aktuatorspannung 23 und den Leitungsdruck 25 aus
20 Fig. 4 in einem Zeitintervall zwischen 2.6 ms und 5.4 ms in einem vergrößerten Maßstab. Wiederkehrende Merkmale sind wiederum mit identischen Bezugszeichen versehen. Zu erkennen ist eine deutliche Korrelation zwischen dem Leitungsdruck 25 und der Aktuatorspannung 23. Nach einem Abklingen des Pulses der
25 Aktuatorspannung 23 zu dem vierten Zeitpunkt 27 (siehe Fig. 4) bei 1 ms sind zeitliche Schwankungen der Aktuatorspannung 23 vor allem auf die Druckschwankungen im Düsenraum 3 des Injektors 1 zurückzuführen. Die in den Fign. 4 und 5 gezeigte Messung, insbesondere in der vergrößerten Darstellung der Fig. 5, il-
30 lustriert damit, dass mit dem vorliegend beschriebenen Verfahren und mit dem Piezoaktuator 7 als Sensor zeitliche Schwankungen des Düsenraumdrucks mit hoher Präzision detektierbar sind.

In Fig. 6 ist das den Injektor 1 und die Steuer- und Regeleinheit
35 2 umfassende Einspritzsystem 100 schematisch in einer Blockstruktur gezeigt. Anhand dieser Blockstruktur soll dargestellt werden, wie Mittels der Steuer- und Regeleinheit 2 zunächst eine Abweichung eines mit dem Piezoaktuator 7 gemessenen Düsen-

raumdrucks von einem vorgegebenen Wert bestimmt wird. Der vorgegebene Wert wird im Weiteren auch Sollwert genannt. Dabei kann der Düsenraumdruck beispielsweise aus der in Fig. 3 gezeigten gemessenen Aktuatorspannung 23 bestimmt werden. Basierend auf der Abweichung eines gemessenen Druckwertes von dem Sollwert kann dann bei einer folgenden Einspritzung eine Korrektur einer Ansteuerung des Injektors 1, insbesondere des die Düsennadel 5 direkt betätigenden Piezoaktuators 7 vorgenommen werden. Auf diese Weise ist es möglich, die im Düsenraum 3 des Injektors 1 auftretenden inhärenten Druckschwankungen zu kompensieren. Umfasst ein Motor neben dem Injektor 1 noch weitere Injektoren, so kann eine entsprechende Kompensation des Düsenraumdrucks für jeden dieser Injektoren individuell vorgenommen werden.

Die Steuer- und Regeleinheit 2 umfasst einen schnellen A/D-Wandler 29, eine in einem Mikrocontroller implementierte Adaptionfunktion 30 sowie eine elektronische Regeleinheit 31. Eine Vorsteuerkompensationseinheit 32 stellt der Adaptionfunktion 30 weitere Injektor- und Motorparameter zur Verfügung. Schematisch dargestellt sind ebenso Sollwerte 33 für den Druck im Düsenraum 3 während eines Einspritzprozesses oder zwischen aufeinander folgenden Einspritzprozessen.

Bei einer Messung mit dem Piezoaktor 7 wird eine Mehrzahl von Messwerten, beispielsweise der in Fig. 3 gezeigte Verlauf der Aktuatorspannung 23, an den AD-Wandler 29 übergeben. Eine Samplingrate der Aktuatorspannung 23 beträgt im vorliegenden Fall 10 kHz. Mittels der Adaptionfunktion 30 werden die gemessenen Spannungswerte zunächst in entsprechende Druckwerte des Düsenraumdrucks umgerechnet, die im Folgenden gemessene Druckwerte genannt werden. Die Umrechnung erfolgt individuell für jeden der Injektoren des Motors, wobei auf eine zu einem früheren Zeitpunkt vorgenommene Eichmessung zurückgegriffen wird. Sodann wird für jeden der gemessenen Druckwerte die Abweichung vom entsprechenden Sollwert 33 bestimmt. Bei der Bestimmung der Abweichung werden für jeden der gemessenen Druckwerte mittels entsprechender Messvorrichtungen die wei-

teren Injektor- und Motorparameter erfasst und an die Vorsteuerkompensationseinheit 32 übergeben, von wo aus sie der Adaptionfunktion 30 zur Verfügung gestellt werden.

- 5 Die zusätzlichen Injektor- und Motorparameter umfassen eine Winkelposition eines dem Injektor 1 zugeordneten Kolbens im Zeitpunkt einer Messung des jeweiligen gemessenen Druckwertes, eine Motordrehzahl, eine Anzahl von Einspritzungen pro Kolbenzyklus, eine Temperatur des Injektors und eine Pumprate der Hochdruckpumpe. Die weiteren Injektor- und Motorparameter umfassen auch unveränderliche, aber für jeden der Injektoren verschiedene Parameter, wie beispielsweise eine Geometrie einer Kraftstoffzuleitung in den jeweiligen Injektor oder eine Entfernung des jeweiligen Injektors von der Hochdruckpumpe. 10 Ebenso können Eigenschaften des Kraftstoffs, wie eine Kraftstoffdicke oder eine Kraftstoffviskosität von den weiteren Injektor- und Motorparametern umfasst sein. Die Sollwerte 33 werden jeweils injektorindividuell in Abhängigkeit von einem oder mehreren der weiteren Injektor- und Motorparameter bestimmt. Beispielsweise sind die Sollwerte 33 durch einen im Hochdruckspeicher bestimmten Systemdruck gegeben. 15 20

- Die folgende Korrektur der Ansteuerung des Injektors 1, die beispielhaft auch für entsprechende Korrekturen einer Ansteuerung der weiteren Injektoren stehen soll, wird dann individuell für den Injektor 1 und jeden der weiteren Injektoren abhängig von injektorindividuellen Werten der entsprechenden weiteren Injektor- und Motorparameter vorgenommen. Die von der Adaptionfunktion 30 bestimmte Korrektur der Ansteuerung des Injektors 1 wird in Abhängigkeit der Abweichung des gemessenen Druckwertes vom Sollwert 33 und von einem oder mehreren der Injektor- und Motorparameter vorgenommen. Ein Korrekturwert umfasst eine Änderung der Einspritzdauer und/oder eines Einspritzzeitpunktes und/oder einer Auslenkung der Düsennadel 5 und/oder eines zeitlichen Verlaufs der Auslenkung der Düsennadel 5 während eines folgenden Einspritzvorganges. Der Korrekturwert kann auch eine Änderung des Systemdrucks im Hochdruckspeicher umfassen. Prinzipiell ist es denkbar, dass z.B. eine Anpassung 25 30 35

der Einspritzdauer noch während des laufenden Einspritzvorganges vorgenommen wird. Der Korrekturwert wird von der Adaptionfunktion 30 an die Regeleinheit 31 übergeben, mittels welcher die Ansteuerung des Piezoaktuators 1 entsprechend korrigiert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion eines Düsenraumdrucks (10) in einem Injektor (1), der ein Verschlusselement (5) zum Öffnen und Schließen einer Einspritzöffnung (4), mindestens einen das Verschlusselement (5) direkt betätigenden Aktuator (7) und mindestens einen Sensor zum Messen eines vom Düsenraum-druck abhängigen Zustands (16) des Verschlusselements (5) umfasst, wobei mit dem Sensor mindestens ein Messwert (13, 23) mindestens einer von dem Zustand abhängigen Messgröße erfasst wird und wobei eine Abweichung des Messwertes von einem vorgegebenen Wert (33) bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktuator und der Sensor eine bauliche Einheit in Form eines Piezoaktuators bilden, wobei der Piezoaktuator je nach Betriebsmodus als Aktuator oder als Sensor eingesetzt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgröße eine oder mehrere der folgenden Größen und/oder eine aus einer oder mehreren der folgenden Größen abgeleitete Größe umfasst:
- eine an dem Sensor anliegende elektrische Spannung (13, 23),
 - eine in dem Sensor gespeicherte und/oder auf den Sensor geflossene elektrische Ladung,
 - ein durch den Sensor fließender und/oder auf den Sensor geflossener elektrischer Strom (24),
 - eine Kapazität des Sensors,
 - eine in dem Sensor gespeicherte und/oder auf den Sensor geflossene oder von dem Sensor abgeflossene Energie.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Endstufe des Sensors zum Erfassen des Messwertes (13, 23) hochohmig betrieben wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Messwert (13, 23) während einer Ladephase und/oder während einer Haltephase und/oder während einer Entladephase des Sensors erfasst wird.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Zustand (16) des Verschlusselements (5), eine Position und/oder eine Geschwindigkeit und/oder eine Beschleunigung und/oder oder eine von dem Verschlusselement (5) auf den Sensor übertragene Kraft umfasst.

10

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Bestimmen der Abweichung zusätzlich eine Winkelposition eines Kolbens eines dem Injektor (1) zugeordneten Zylinders erfasst wird.

15

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgegebene Wert (33) durch einen in einem Hochdruckspeicher erfassten oder durch einen in Abhängigkeit von einem Motorzustand von einer Steuereinheit angeforderten Systemdruck oder durch einen dem Systemdruck entsprechenden Messwert (13, 3) der Messgröße gegeben ist.

20

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass basierend auf der Abweichung des Messwertes (13, 23) von dem vorgegebenen Wert (33) eine Korrektur einer Ansteuerung des Injektors (1) vorgenommen wird.

25

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur eine Änderung einer Einspritzzeit und/oder eines Einspritzzeitpunktes und/oder einer Auslenkung des Verschlusselements (5) und/oder eines zeitlichen Verlaufs der Auslenkung des Verschlusselements (5) während eines Einspritzvorganges (11a, 11b, 11c) umfasst.

30

35

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur in Abhängigkeit einer Winkelposition eines Kolbens eines dem Injektor (1) zugeordneten Zylinders und/oder

eines Motorzustandes und/oder einer Temperatur des Injektors (1) und/oder einer Geometrie einer Kraftstoffzuführung in den Injektor (1) vorgenommen wird.

- 5 12. Einspritzsystem (100), umfassend mindestens einen Injektor (1), der ein Verschlusselement (5) zum Öffnen und Schließen einer Einspritzöffnung (4), mindestens einen das Verschlusselement (5) direkt betätigenden Aktuator (7) und mindestens einen Sensor zum
10 Messen eines von einem Düsenraumdruck abhängigen Zustands (16) des Verschlusselements (5) aufweist, und umfassend eine Steuer- und Regeleinheit (2), wobei das Einspritzsystem (100) zum Durchführen eines Verfahrens zur Detektion eines Düsenraumdrucks (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist.

FIG 1

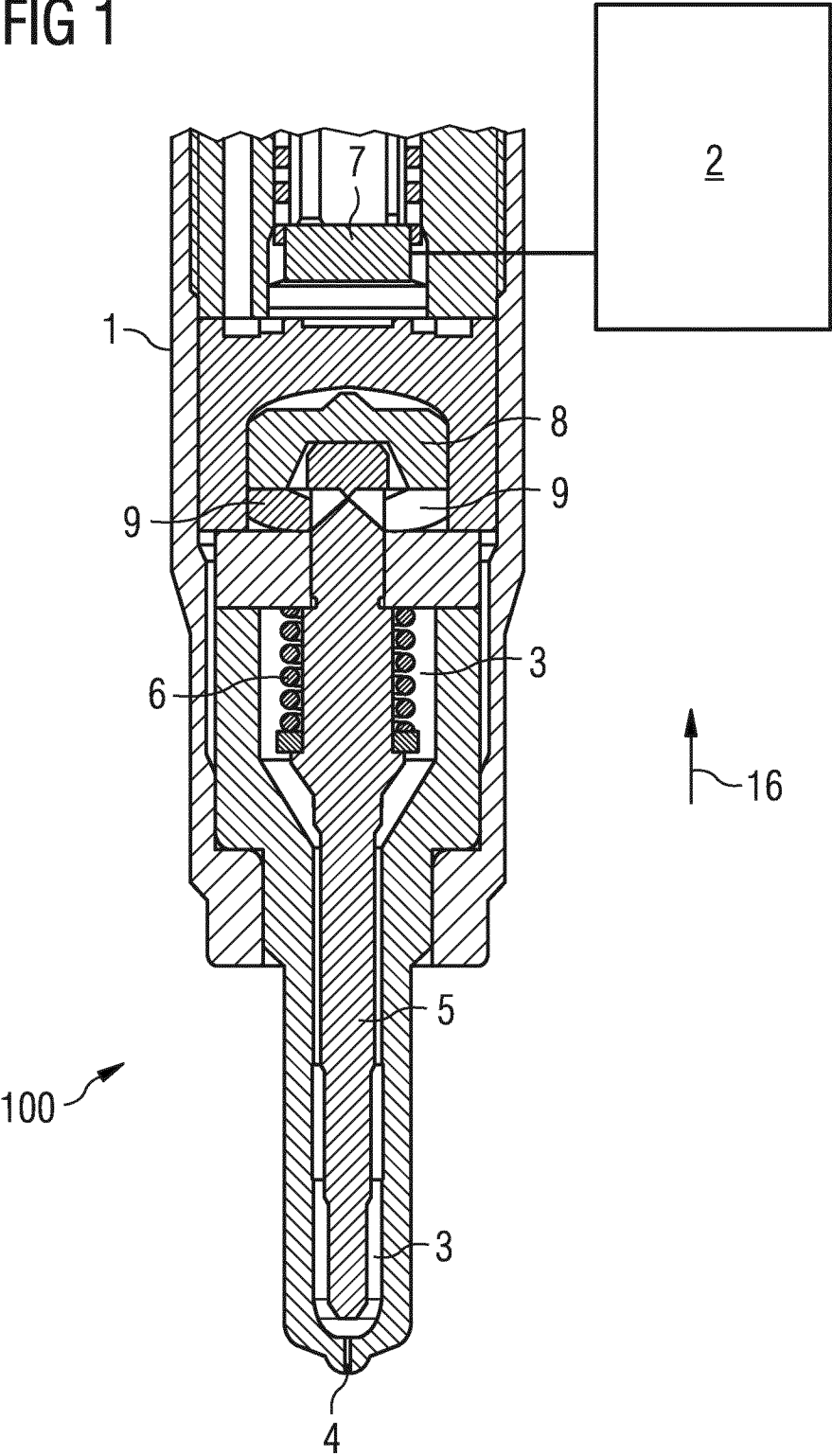


FIG 2

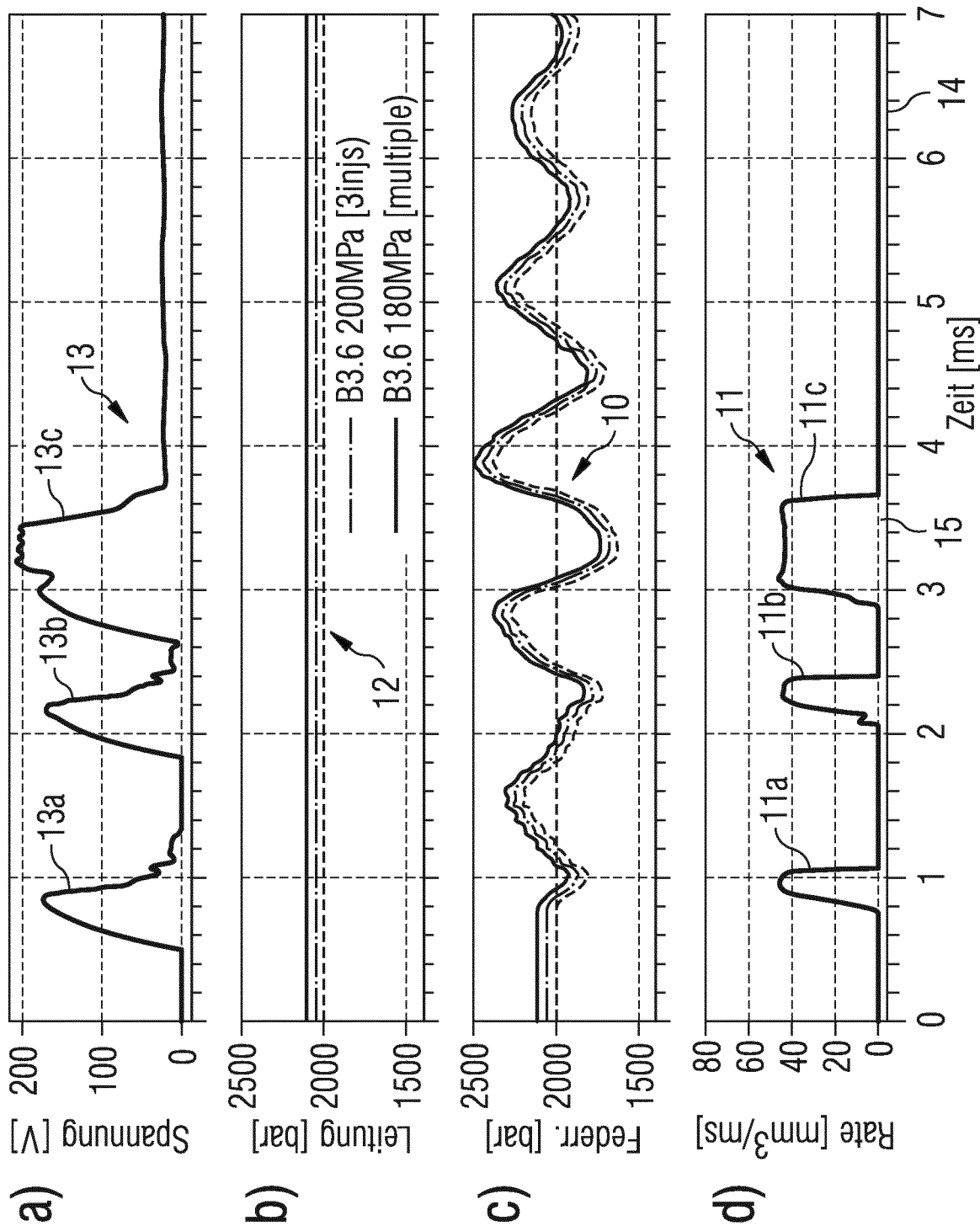


FIG 3

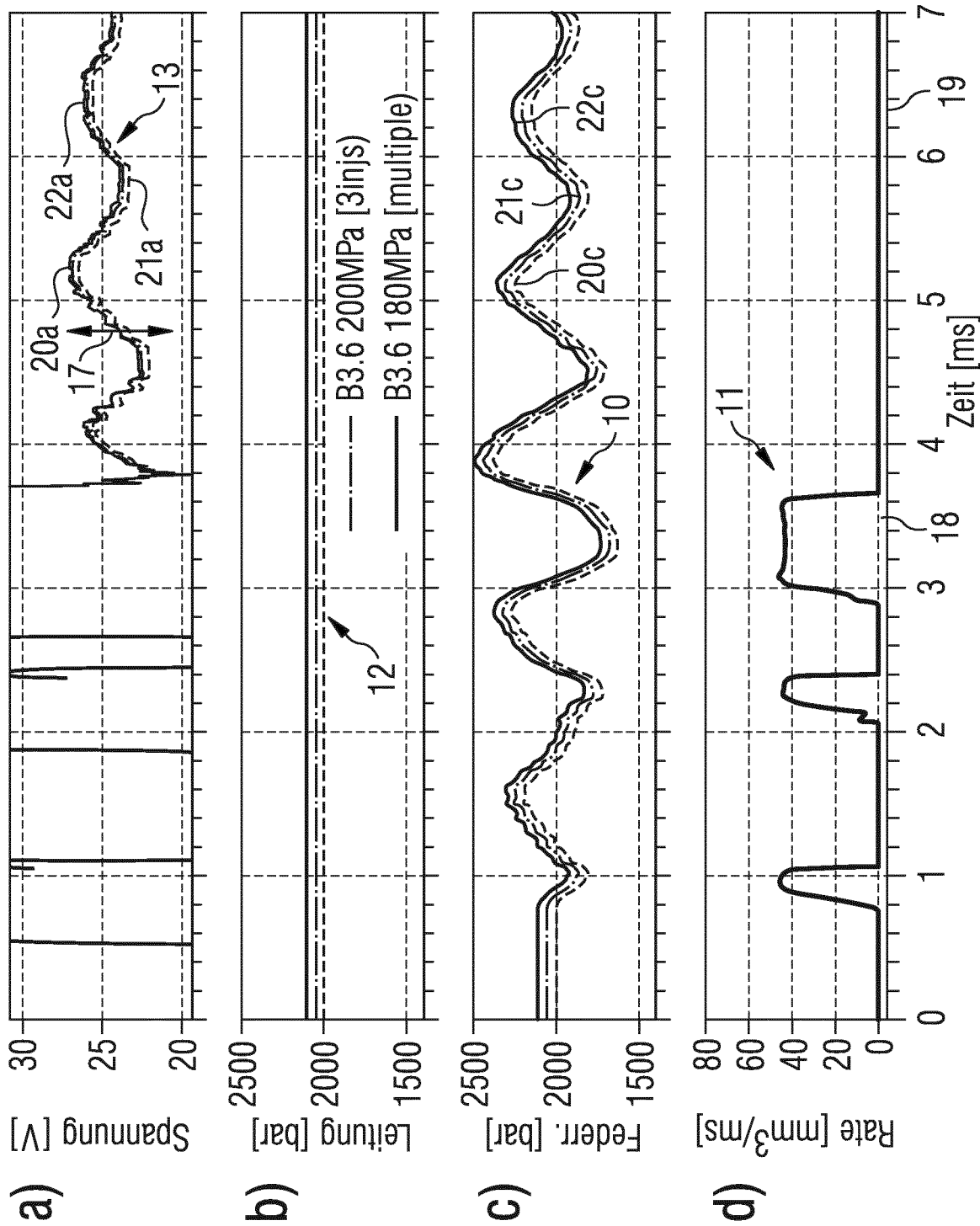


FIG 4

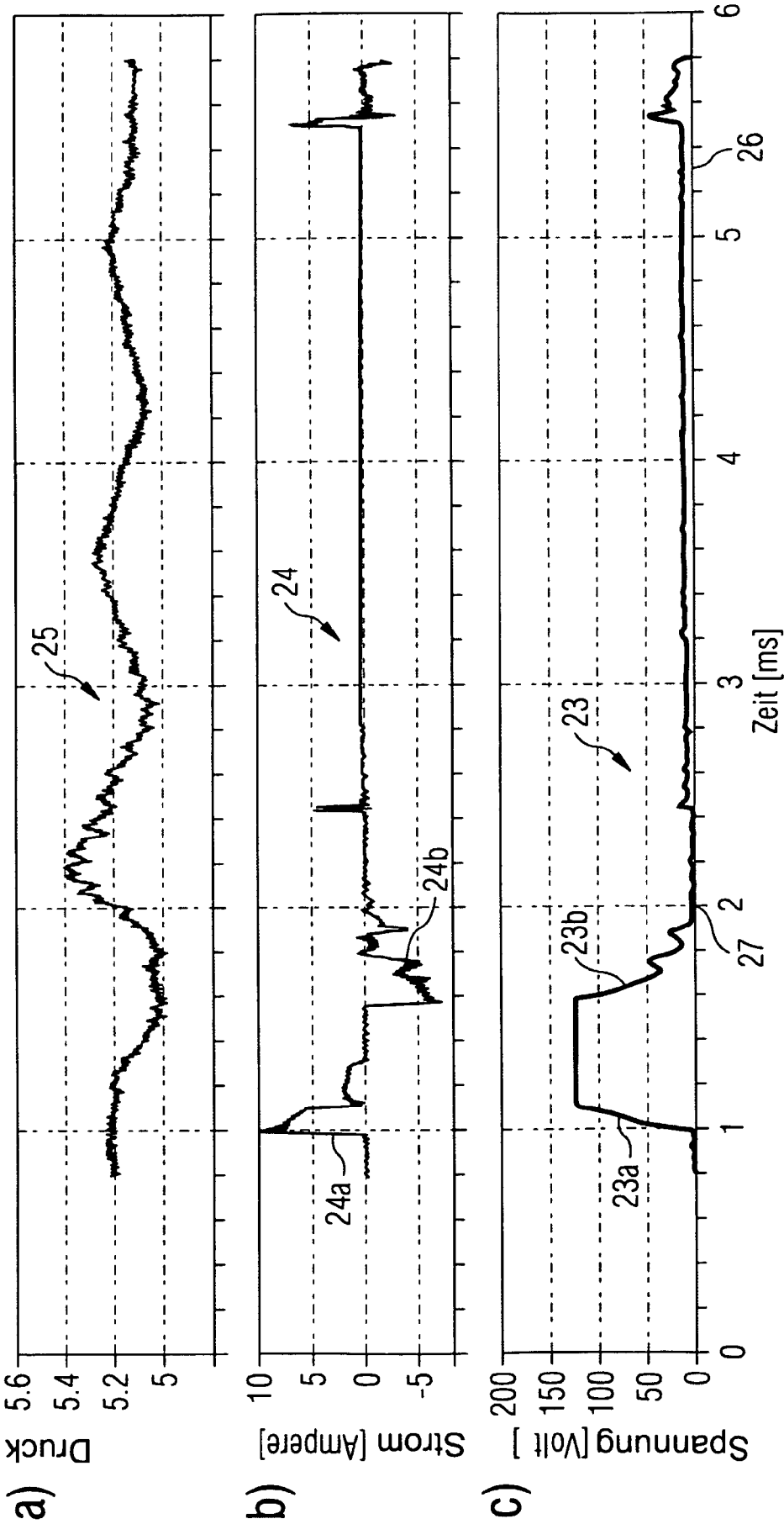


FIG 5

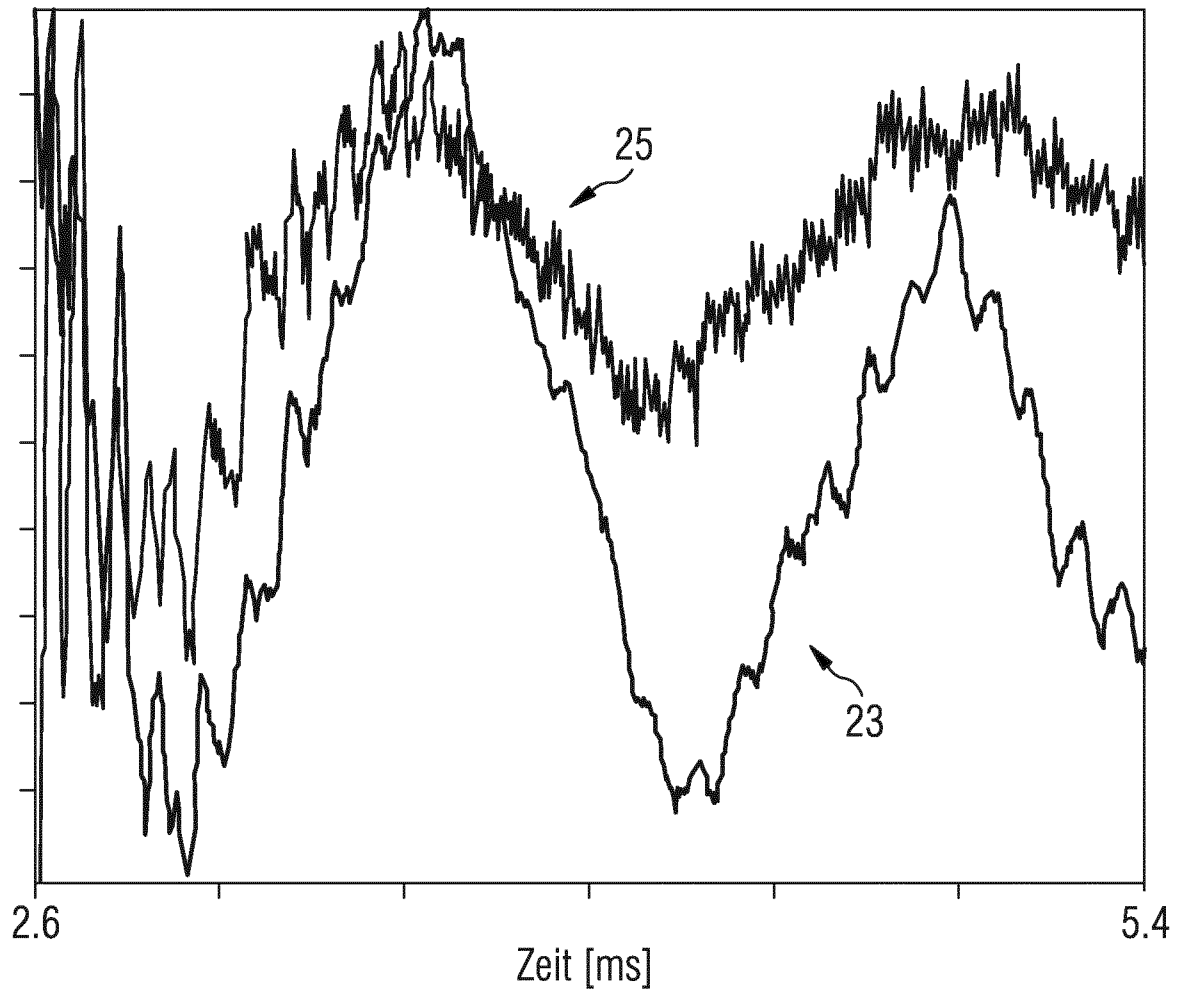
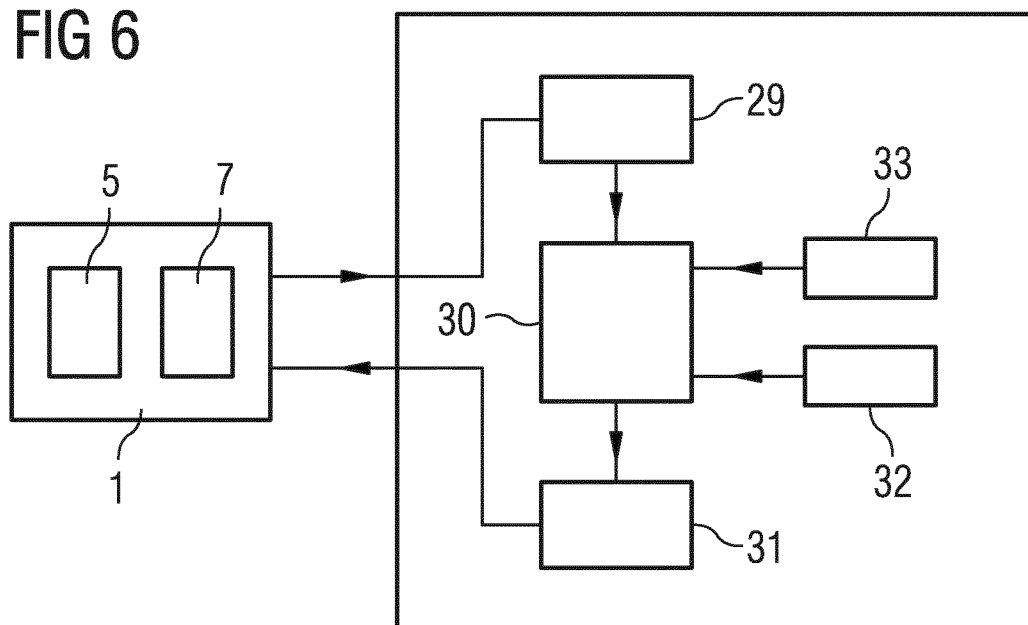


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/054799

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02M65/00 F02D41/20
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)

F02M 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 2006 027665 B3 (SIEMENS AG [DE]) 20 September 2007 (2007-09-20) page 2, paragraph 0001; figures 1,2 page 4, paragraph 0029 - page 5, paragraph 0033 claim 8	1-12
A	----- DE 198 27 287 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23 December 1999 (1999-12-23) abstract; figure 1	1
A	----- WO 2005/108771 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; THIES HARALD [DE]) 17 November 2005 (2005-11-17) page 1, line 28 - page 2, line 26; figure 1 ----- -/--	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 May 2012

Date of mailing of the international search report

31/05/2012

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Etschmann, Georg

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/054799

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2005 057572 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14 June 2007 (2007-06-14) page 3, paragraph 0018 - page 4, paragraph 0022; figures 1,2 -----	1
A	DE 10 2008 007205 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 6 August 2009 (2009-08-06) page 2, paragraph 0008 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/054799

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102006027665 B3	20-09-2007	NONE	
DE 19827287 A1	23-12-1999	DE 19827287 A1	23-12-1999
		EP 1030969 A1	30-08-2000
		JP 2002519562 A	02-07-2002
		US 6318342 B1	20-11-2001
		WO 9967528 A1	29-12-1999
WO 2005108771 A1	17-11-2005	DE 102004022371 A1	01-12-2005
		EP 1745209 A1	24-01-2007
		ES 2290909 T3	16-02-2008
		JP 4789929 B2	12-10-2011
		JP 2007536462 A	13-12-2007
		US 2007046146 A1	01-03-2007
		WO 2005108771 A1	17-11-2005
DE 102005057572 A1	14-06-2007	NONE	
DE 102008007205 A1	06-08-2009	DE 102008007205 A1	06-08-2009
		WO 2009095128 A1	06-08-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02M65/00 F02D41/20
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02M 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 2006 027665 B3 (SIEMENS AG [DE]) 20. September 2007 (2007-09-20) Seite 2, Absatz 0001; Abbildungen 1,2 Seite 4, Absatz 0029 - Seite 5, Absatz 0033 Anspruch 8	1-12
A	----- DE 198 27 287 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23. Dezember 1999 (1999-12-23) Zusammenfassung; Abbildung 1	1
A	----- WO 2005/108771 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; THIES HARALD [DE]) 17. November 2005 (2005-11-17) Seite 1, Zeile 28 - Seite 2, Zeile 26; Abbildung 1 ----- -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. Mai 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/05/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Etschmann, Georg

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2005 057572 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14. Juni 2007 (2007-06-14) Seite 3, Absatz 0018 - Seite 4, Absatz 0022; Abbildungen 1,2 -----	1
A	DE 10 2008 007205 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 6. August 2009 (2009-08-06) Seite 2, Absatz 0008 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/054799

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102006027665 B3	20-09-2007	KEINE	
DE 19827287 A1	23-12-1999	DE 19827287 A1	23-12-1999
		EP 1030969 A1	30-08-2000
		JP 2002519562 A	02-07-2002
		US 6318342 B1	20-11-2001
		WO 9967528 A1	29-12-1999
WO 2005108771 A1	17-11-2005	DE 102004022371 A1	01-12-2005
		EP 1745209 A1	24-01-2007
		ES 2290909 T3	16-02-2008
		JP 4789929 B2	12-10-2011
		JP 2007536462 A	13-12-2007
		US 2007046146 A1	01-03-2007
		WO 2005108771 A1	17-11-2005
DE 102005057572 A1	14-06-2007	KEINE	
DE 102008007205 A1	06-08-2009	DE 102008007205 A1	06-08-2009
		WO 2009095128 A1	06-08-2009