

(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
29. November 2012 (29.11.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/159877 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2012/058457
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 8. Mai 2012 (08.05.2012)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:** 10 2011 076 363.5 24. Mai 2011 (24.05.2011) 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):** DENK, Frank [DE/DE]; Dürerstr. 9, 93083 Obertraubling (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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** DETERMINATION OF THE STANDARD-SERIES OPENING BEHAVIOUR OF A FUEL INJECTOR ON THE BASIS OF A TEST OPENING BEHAVIOUR UNDER THE INFLUENCE OF A TEST PULSE WITH A CONSTANT VOLTAGE

(54) **Bezeichnung :** BESTIMMUNG DES STANDARDSERIEN-ÖFFNUNGSVERHALTENS EINES KRAFTSTOFFINJEKTORS BASIEREND AUF EINEM TEST-ÖFFNUNGSVERHALTEN UNTER DEM EINFLUSS EINES TESTPULSES MIT KONSTANTER SPANNUNG

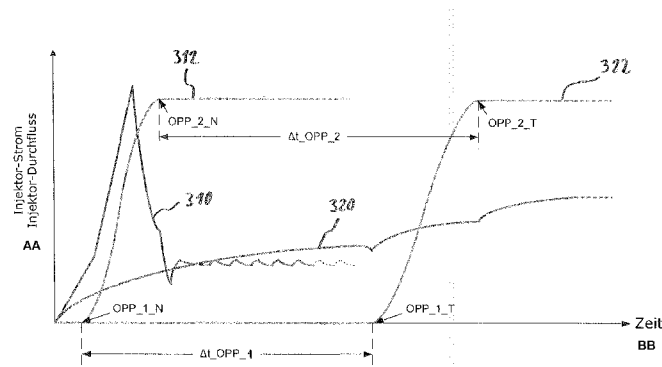
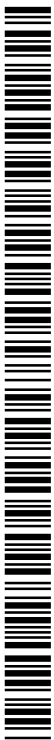


Fig. 3

FIG. 3:
AA Injektor current
BB Flow through injector
BB Time

(57) **Abstract:** A method for determining the opening behaviour of a fuel injector, having a coil drive, for an internal combustion engine of a motor vehicle is described. The method comprises (a) applying to the coil drive a test voltage profile (U) which has an at least approximately constant test voltage within a test time window, with the result that a magnet armature of the coil drive moves from a closed position into an open position, (b) measurement of the time profile of the current strength (I) of the current flowing through the coil drive, (c) identification of a characteristic feature in the measured time profile of the current strength (I), (d) determination of a time difference (OPP_2_T) between the start of the test time window and the occurrence of the characteristic feature, and (e) determination of the chronological opening behaviour of the fuel injector which occurs when a standard-series voltage profile is applied to the coil drive, as a function of the determined

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/159877 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

time difference (OPP_2_T). In addition, a device and a computer program which are configured for carrying out the method are described. Furthermore, a method for determining a correlation between a test opening behaviour and a standard-series opening behaviour of a fuel injector and a method for actuating a fuel injector are also described.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Bestimmen des Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Das Verfahren weist auf (a) Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil (U), welches innerhalb eines Test-Zeitfensters eine zumindest annähernd konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition in eine Öffnungsposition bewegt, (b) Messen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke (I) des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms, (c) Identifizieren eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke (I), (d) Ermitteln einer Zeitdifferenz (OPP_2_T) zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des charakteristischen Merkmals, und (e) Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz (OPP_2_T). Es wird ferner eine Vorrichtung sowie ein Computerprogramm beschreiben, welche zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet sind. Außerdem wird noch ein Verfahren zum Bestimmen einer Korrelation zwischen einem Test-Öffnungsverhalten und einem Standardserien-Öffnungsverhalten eines Kraftstoffinjektors sowie ein Verfahren zum Ansteuern eines Kraftstoffinjektors beschrieben.

Beschreibung

Bestimmung des Standardserien-Öffnungsverhaltens eines Kraftstoffinjektors basierend auf einem Test-Öffnungsverhalten
5 unter dem Einfluss eines Testpulses mit konstanter Spannung

Die vorliegende Erfindung betrifft das technische Gebiet der Ansteuerung von Kraftstoffinjektoren, welche einen mit einer
10 Ventilnadel mechanisch gekoppelten magnetischen Anker und einen eine Spule aufweisenden Spulenantrieb zum Bewegen des magnetischen Ankers aufweisen. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren sowie eine Vorrichtung und ein
Computerprogramm zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens
15 eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen einer Korrelation zwischen einem zeitlichen Test- Öffnungsverhalten und einem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten eines einen
20 Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Ansteuern eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges.

25 Beim Betrieb insbesondere von direkt angetriebenen Kraftstoffinjektoren, welche einen mit einer Ventilnadel mechanisch gekoppelten magnetischen Anker und einen eine Spule aufweisenden Spulenantrieb zum Bewegen des magnetischen Ankers aufweisen, mit
30 gleichen Strom/Spannungsparametern kommt es aufgrund von elektrischen, magnetischen und/oder mechanischen Toleranzen zu einem unterschiedlichen zeitlichen Öffnungs- und/oder Schließverhalten der individuellen Kraftstoffinjektoren. Dies wiederum führt zu unerwünschten Injektor-individuellen Variationen in der Menge des tatsächlich eingespritzten Kraftstoffs

35

Die relativen Einspritzmengenunterschiede von Kraftstoffinjektor zu Kraftstoffinjektor vergrößern sich jedoch bei kürzer werdenden Einspritzzeiten und damit bei geringen Einspritz-

mengen. Für moderne Motoren ist es bereits wichtig und für zukünftige Motorengenerationen wird es in Anbetracht einer weiteren Reduzierung von Schadstoffemissionen noch wichtiger sein, dass auch bei geringen einzuspritzenden Kraftstoffmengen eine hohe Mengengenauigkeit gewährleistet werden kann. Eine hohe Mengengenauigkeit kann jedoch nur dann erreicht werden, wenn das tatsächlich Bewegungsverhalten der Ventalnadel bzw. des magnetischen Ankers insbesondere während des Öffnungsvorgangs und/oder des Schließvorgangs bekannt ist.

10

Der zum Betrieb eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors, welche in diesem Dokument auch als Spuleninjektor bezeichnet wird, benötigte Spulenstrom wird typischerweise durch eine geeignete Stromregler Hardware zur Verfügung gestellt. Der sich einstellende zeitliche Stromverlauf durch die Spule des Spulenantriebs ist dabei unter anderem von der Induktivität und dem elektrischen Widerstand der Spule abhängig. Der elektrische Widerstand setzt sich aus dem ohmschen Widerstand der Wicklung(en) der Spule und dem Widerstand des (ferro)magnetischen Materials des Spuleninjektors zusammen. Wirbelströme, die aufgrund von magnetischen Flussänderungen im ferromagnetischen Material fließen werden durch den endlichen elektrischen Widerstand des (ferro)magnetischen Materials gedämpft.

25

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, möglichst ohne einen zusätzlichen apparativen Aufwand das tatsächliche Bewegungsverhalten eines Kraftstoffinjektors zu charakterisieren.

30

Diese Aufgabe wird gelöst durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

35

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Das be-

schriebene Verfahren weist auf (a) ein Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil, welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine zumindest annähernd konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt, (b) ein Messen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters, (c) ein Identifizieren zumindest eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke, (d) ein Ermitteln einer Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des identifizierten charakteristischen Merkmals, und (e) ein Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz.

Dem beschriebenen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich beim Betrieb des Kraftstoff- oder Spuleninjektors die Induktivität der Spule des Spulenantriebs des Injektors zu Beginn der Öffnungsphase (= der magnetische Anker beginnt zu einem Zeitpunkt OPP_1 sich aus seiner Schließposition in Richtung seiner Öffnungsposition zu bewegen) und am Ende der Öffnungsphase (= der magnetische Anker hat zu einem Zeitpunkt OPP_2 seine Öffnungsposition erreicht) ändert. Dieses Bewegungsverhalten ist im zeitlichen Verlauf des durch den Spuleninjektor fließenden Stromes, welcher aufgrund der Induktivität der Spule in erster Näherung einen sich in Richtung eines Sättigungswertes exponentiell ansteigenden Verlauf aufweist, anhand des beschriebenen charakteristischen Merkmals erkennbar. Der Erfinder des beschriebenen Verfahrens hat herausgefunden, dass das charakteristische Merkmal, welches beispielsweise ein Knick in dem ansonsten stetig ansteigenden Verlauf sein kann, umso stärker ausgeprägt ist, je niedriger die an der Spule angelegte Spannung ist. Da eine niedrige Spulenspannung jedoch i. Allg. zu einem langsamen Stromanstieg und damit auch zu einem langsameren Öffnen

des Spuleninjektors führt, wird der Spulenantrieb erfindungsgemäß in dem Test-Zeitfenster mit einer konstanten Test-Spannungspegel und nicht wie üblich mit einem eine Boost- bzw. Verstärkungsphase aufweisenden Spannungsprofil beaufschlagt, welches zwar für eine erwünschte schnelle Öffnung des Spuleninjektors sorgt, welches jedoch ein Erkennen des charakteristischen Merkmals schwierig oder sogar unmöglich macht.

Das Standardserien-Spannungsprofil kann insbesondere einen zeitlichen Spannungsverlauf aufweisen, bei dem zunächst während einer Verstärkungsphase eine Verstärkungsspannung an die Spule angelegt wird, um eine beschleunigte Bewegung des Magnetankers des Spulenantriebs von der Schließposition in die Öffnungsposition zu gewährleisten. Nach der Verstärkungsphase kann insbesondere eine sog. Freilaufphase folgen, während der keine Spannung oder lediglich eine im Vergleich zur Verstärkungsspannung deutlich kleinere Batteriespannung an die Spule angelegt wird. Der Magnetanker kann je nach spezifischer Anwendung seine Öffnungsposition bereits in der Verstärkungsphase oder auch erst in der Freilaufphase erreichen. Nach der Freilaufphase folgt typischerweise eine sog. Haltephase, innerhalb welcher der Magnetanker in seiner Öffnungsposition gehalten wird. In der Haltephase wird eine Haltespannung an die Spule angelegt. Dabei kann ein effektiver Haltespannungspegel durch eine Pulsweitenmodulation erreicht werden, welcher eine Vielzahl von Haltepulsen aufweist, so dass sich ein vorgegebener Haltestrom mit einem unteren Halteniveau und einem oberen Halteniveau einstellt.

Anschaulich gesprochen wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren versucht, anhand des Öffnungsverhaltens des Spuleninjektors unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils Informationen über die Geschwindigkeit des Öffnungsvorgangs zu erhalten, welche dann für eine Vorhersage der Geschwindigkeit des Öffnungsvorgangs unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils verwendet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Spuleninjektor, welcher sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Spuleninjektoren nur langsam

5 öffnet, auch unter einer realen Ansteuerung ein vergleichsweise langsames Öffnungsverhalten zeigt. Entsprechendes gilt selbstverständlich auch für einen bestimmten Spuleninjektor, der sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Spuleninjektoren relativ schnell öffnet.

10 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das charakteristische Merkmal für das Erreichen der Öffnungsposition indikativ. Dies hat den Vorteil, dass mit dem beschriebenen Verfahren das Erreichen eines Zustandes des Spuleninjektors erkannt werden kann, welches im besonderen Maße charakteristisch für das Öffnungsverhalten des Spuleninjektors ist.

15 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das Verfahren ferner auf (a) ein Identifizieren zumindest eines weiteren charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke, und (b) ein Ermitteln einer weiteren Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des Weiteren identifizierten charakteristischen Merkmals. Dabei wird das zeitliche Öffnungsverhalten des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, zusätzlich als Funktion der ermittelten weiteren Zeitdifferenz bestimmt.

25 Die Verwendung des Weiteren charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke während des Test-Zeitfensters hat den Vorteil, dass das Öffnungsverhalten des Spuleninjektors unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils besonders genau ermittelt werden kann. Dies ermöglicht wiederum eine besonders genaue Bestimmung zeitlichen Öffnungsverhaltens des Spulen- oder Kraftstoffinjektors unter realen Bedingungen mit dem genannten Standardserien-Spannungsprofil.

35 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das weitere charakteristische Merkmal für das Verlassen der Schließposition indikativ. Dies hat den Vorteil, dass mit dem beschriebenen Verfahren ein weiterer Zeitpunkt bestimmt werden

kann, welcher im besonderen Maße für das Öffnungsverhalten des Spuleninjektors charakteristisch ist.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weist die
5 Test-Spannung einen Pegel auf, welcher kleiner ist als oder
welcher gleich groß ist wie der Spannungspegel einer Batterie des
Kraftfahrzeugs. Dies hat den Vorteil, dass der
Test-Spannungspegel auch im realen Betrieb des Kraftfahrzeugs
einen genau definierten Wert haben kann, welche eine besonders
10 genaue Bestimmung des Bewegungsverhaltens unter dem Einfluss des
Test-Spannungsprofils gewährleistet. Insbesondere ein Pegel der
Test-Spannung, welche um einen gewissen Betrag (z.B. 1, 2 oder
3 Volt) kleiner ist als die Batteriespannung und welcher in
bekannter Weise aus der Batteriespannung unter Verwendung eines
15 eine feste Ausgangsspannung liefernden Spannungswandler erzeugt
wird, hat den Vorteil, dass der Pegel der Test-Spannung sogar bei
einer schwankenden Batteriespannung konstant gehalten werden
kann. Damit ist die Genauigkeit des beschriebenen Verfahrens
unabhängig von der aktuellen Batteriespannung. Schwankende
20 Batteriespannungspegel, die sich innerhalb akzeptabler Grenzen
bewegen, führen somit nicht zu einer Verschlechterung der
Genauigkeit bei der Bestimmung des Öffnungsverhaltens.

Die beschriebene Test-Spannung kann zum Beispiel mittels einer
25 9V Hilfswicklung auf einem in einem Motorsteuergerät inte-
grierten DC/DC-Wandler erzeugt werden. Diese Test-Spannung
zeichnet sich dann dadurch aus, dass sie auch bei einer
schwankenden Batteriespannung in sehr guter Näherung konstant
bleibt. Da die Test-Spannung somit prinzipiell kleiner ist als
30 die zur Verfügung stehende Batteriespannung wird somit beim
Betrieb des Spuleninjektors mit dieser konstanten Test-Spannung
der zeitliche Stromverlauf zu einer ausgeprägten Erkennung der
beiden charakteristischen Merkmale führen.

35 Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das
charakteristische Merkmal und/oder das weitere charakteris-
tische Merkmal ein Wendepunkt in dem zeitlichen Verlauf der
Stromstärke des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms

innerhalb des Test-Zeitfensters. Dies hat den Vorteil, dass bereits kleine mit den bloßen Augen nur schwer erkennbare charakteristische Merkmale in dem zeitlichen Verlaufs der Stromstärke identifiziert werden können. Dabei können insbesondere geeignete mathematische Verfahren zur Kurvenanalyse verwendet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere bei verrauschten Messwerten für den zeitlichen Verlauf der Stromstärke des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters der Wendepunkt des charakteristischen Merkmals und/oder der weitere Wendepunkt des weiteren charakteristischen Merkmals auch anhand einer Ausgleichskurve identifiziert werden kann bzw. können, welche den verrauschten Verlauf der Stromstärke beschreibt.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Bestimmen einer Korrelation zwischen einem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und einem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Das beschriebene Korrelationsbestimmungsverfahren weist auf (a) ein Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil, welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt, (b) ein Messen des zeitlichen Verlaufs einer Test-Kraftstoff-Durchflussrate durch den Kraftstoffinjektor während des Test-Zeitfensters, (c) ein Ermitteln einer ersten zeitlichen Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Test-Zeitfensters und dem Zeitpunkt des Erreichens einer maximalen Test-Kraftstoff-Durchflussrate, (d) ein Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil, (e) ein Messen des zeitlichen Verlaufs einer Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate durch den Kraftstoffinjektor

unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils, (f) ein Ermitteln einer zweiten zeitlichen Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Standardserien-Spannungsprofils und dem Zeitpunkt des Erreichens einer maximalen Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate, und (g) ein Bestimmen der Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten anhand eines Vergleichs zwischen der ersten zeitlichen Verzögerung und der zweiten zeitlichen Verzögerung.

10

Auch dem beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das Öffnungsverhalten des Kraftstoffinjektors unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils wichtige Informationen über die Geschwindigkeit bzw. die Dynamik des Öffnungsvorgangs liefern kann, welches derselbe Kraftstoffinjektor unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils zeigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Kraftstoff- oder Spuleninjektor, welcher sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Injektoren nur langsam öffnet, auch bei einer realen Ansteuerung mit dem Standardserien-Spannungsprofil ein vergleichsweise langsames Öffnungsverhalten zeigt. Entsprechendes gilt selbstverständlich auch für einen Injektor, der sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Injektoren relativ schnell öffnet.

20

Wie bereits oben ausführlich erläutert, kann das Standardserien-Spannungsprofil insbesondere eine Verstärkungsphase, eine nachfolgende Freilaufphase und ein spätere Haltephase aufweisen.

30

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weist das Korrelationsbestimmungsverfahren ferner auf (a) ein Ermitteln einer weiteren ersten zeitlichen Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Test-Zeitfensters und dem Zeitpunkt zu dem erstmalig eine von Null verschiedene Test-Kraftstoff-Durchflussrate auftritt, und (b) ein Ermitteln einer weiteren zweiten

35

zeitlichen Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Standardserien-Spannungsprofils und dem Zeitpunkt, zu dem erstmalig eine von Null verschiedene Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate auftritt. Dabei wird die Korrelation zwischen dem
5 zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten ferner anhand eines Vergleichs zwischen der weiteren ersten zeitlichen Verzögerung und der weiteren zweiten zeitlichen Verzögerung bestimmt.

10 Die beschriebene Bestimmung der Korrelation anhand von zwei Paaren von zeitlichen Verzögerungen hat den Vorteil, dass eine besonders genaue Beziehung zwischen dem Öffnungsverhalten unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils und dem Öffnungsverhalten unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofil bestimmt werden kann.
15 Damit kann im realen Betrieb des Kraftstoffinjektors basierend auf einer zwischenzeitlichen Beaufschlagung des Kraftstoffinjektors mit dem Test-Spannungsprofil und den weiteren Schritten des oben beschriebenen Verfahrens zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors und der genannten Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem
20 zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten das zu erwartende tatsächlich Öffnungsverhalten des Kraftstoffinjektors unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils besonders genau bestimmt werden.

25

Der Zeitpunkt, zu dem erstmalig eine von Null verschiedene Kraftstoff-Durchflussrate auftritt, definiert dabei den Beginn der jeweiligen Öffnungsphase des Injektors unter dem Einfluss des Test- bzw. unter dem Einfluss des Standardserien-Ansteuerprofils.
30

Anschaulich ausgedrückt kann die beschriebene Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten, welche insbesondere in
35 einem Motorprüfstand, welcher eine genaue Erfassung der Kraftstoff-Durchflussraten erlaubt, dazu verwendet werden, das zu erwartende Öffnungsverhalten des jeweiligen Kraftstoffinjektors nicht nur qualitativ in Relation zu anderen Kraft-

stoffinjektoren sondern auch quantitativ zu beschreiben. Insbesondere kann das zu erwartende Öffnungsverhalten des betreffenden Kraftstoffinjektors anhand des genauen Zeitpunkts des Beginns der Öffnungsphase (= der magnetische Anker beginnt zu einem Zeitpunkt OPP_1 sich aus seiner Schließposition in Richtung seiner Öffnungsposition zu bewegen) und des genauen Zeitpunkts des Endes der Öffnungsphase (= der magnetische Anker hat zu einem Zeitpunkt OPP_2 seine Öffnungsposition erreicht) quantitativ bestimmt werden.

10

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Ansteuern eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Das beschriebene Ansteuerungsverfahren weist auf (a) ein Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors nach einer Ausführungsform des oben beschriebenen Verfahrens und (b) ein Anpassen der elektrischen Ansteuerung des Kraftstoffinjektors basierend auf dem bestimmten zeitlichen Öffnungsverhalten so dass mit einem Einspritzvorgang eine vorbestimmte Menge an Kraftstoff injiziert wird.

20

Dem beschriebenen Ansteuerungsverfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das oben erläuterte Verfahren zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors dazu verwendet werden kann, (a) das zu erwartende tatsächliche Bewegungsverhalten eines Magnetankers des Kraftstoffinjektors unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils zu bestimmen, (b) basierend auf dem bestimmten Bewegungsverhalten die tatsächliche Kraftstoff-Einspritzmenge zu ermitteln und (c) für einen nachfolgenden Einspritzvorgang unter dem Einfluss eines Standardserien-Spannungsprofils die elektrische Ansteuerung des Kraftstoffinjektors derart anzupassen, dass die Kraftstoff-Einspritzmenge möglichst genau einer für einen bestimmten Betriebszustand vorgegebenen Sollmenge entspricht.

35

Mit dem beschriebenen Ansteuerungsverfahren kann die Mengengenauigkeit des Kraftstoffinjektors insbesondere bei kleinen Mengen erheblich verbessert werden und damit ein wichtiger Beitrag für einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder für reduzierte Schadstoffemissionen geleistet werden.

Die beschriebene Anpassung der elektrischen Ansteuerung des Spulen- oder Kraftstoffinjektors kann dabei insbesondere durch die oben im Detail erläuterte Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten des Kraftstoffinjektors berechnet oder bestimmt werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Die beschriebene Vorrichtung weist auf (a) eine Stromregelungseinrichtung zum Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil, welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt, (b) eine Messeinrichtung zum Messen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters, und (c) eine Datenverarbeitungseinrichtung zum (c1) Identifizieren zumindest eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke, (c2) Ermitteln einer Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des identifizierten charakteristischen Merkmals, und (c3) Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz.

Auch der beschriebenen Vorrichtung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass anhand des Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils Informationen über die Geschwindigkeit des Öffnungsvorgangs gewonnen werden können, welche dann für eine Vorhersage der Geschwindigkeit des Öffnungsvorgangs unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils verwendet werden können. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Kraftstoff- bzw. Spuleninjektor, welcher sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Spuleninjektoren nur langsam öffnet, auch unter einer realen Ansteuerung ein vergleichsweise langsames Öffnungsverhalten zeigt. Entsprechendes gilt selbstverständlich auch für einen Injektor, der sich unter dem Einfluss des Test-Spannungsprofils im Vergleich zu anderen Spuleninjektoren relativ schnell öffnet. Von dem Erfinder wurde ferner erkannt, dass das beschriebene charakteristische Merkmal, welches beispielsweise ein Knick in dem ansonsten stetig ansteigenden Verlauf sein kann, umso stärker ausgeprägt ist, je niedriger die an der Spule angelegte Spannung ist. Da eine niedrige Spulenspannung jedoch i. Allg. zu einem langsamen Stromanstieg und damit auch zu einem langsameren Öffnen des Spuleninjektors führt, wird der Spulenantrieb erfindungsgemäß in dem Test-Zeitfenster mit einer konstanten Test-Spannungspegel und nicht wie üblich mit einem Boost- bzw. Verstärkungsphase aufweisenden Spannungsprofil beaufschlagt, welches zwar für eine erwünschte schnelle Öffnung des Spuleninjektors sorgt, welches jedoch ein Erkennen des charakteristischen Merkmals schwierig oder sogar unmöglich macht.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Computerprogramm zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges beschrieben. Das Computerprogramm ist, wenn es von einem Prozessor ausgeführt wird, zum Durchführen des Verfahrens zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors eingerichtet.

Im Sinne dieses Dokuments ist die Nennung eines solchen Computerprogramms gleichbedeutend mit dem Begriff eines Programm-Elements, eines Computerprogrammprodukts und/oder eines computerlesbaren Mediums, das Anweisungen zum Steuern eines Computersystems enthält, um die Arbeitsweise eines Systems bzw. eines Verfahrens in geeigneter Weise zu koordinieren, um die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verknüpften Wirkungen zu erreichen.

Das Computerprogramm kann als computerlesbarer Anweisungscode in jeder geeigneten Programmiersprache wie beispielsweise in JAVA, C++ etc. implementiert sein. Das Computerprogramm kann auf einem computerlesbaren Speichermedium (CD-Rom, DVD, Blue-ray Disk, Wechsellaufwerk, flüchtiger oder nicht-flüchtiger Speicher, eingebauter Speicher oder Prozessor etc.) abgespeichert sein. Der Anweisungscode kann einen Computer oder andere programmierbare Geräte wie insbesondere ein Steuergerät für einen Motor eines Kraftfahrzeugs derart programmieren, dass die gewünschten Funktionen ausgeführt werden. Ferner kann das Computerprogramm in einem Netzwerk wie beispielsweise dem Internet bereitgestellt werden, von dem es bei Bedarf von einem Nutzer herunter geladen werden kann.

Die Erfindung kann sowohl mittels eines Computerprogramms, d.h. einer Software, als auch mittels einer oder mehrerer spezieller elektrischer Schaltungen, d.h. in Hardware oder in beliebig hybrider Form, d.h. mittels Software-Komponenten und Hardware-Komponenten, realisiert werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf unterschiedliche Erfindungsgegenstände beschrieben wurden. Insbesondere sind einige Ausführungsformen der Erfindung mit Vorrichtungsansprüchen und andere Ausführungsformen der Erfindung mit Verfahrensansprüchen beschrieben. Dem Fachmann wird jedoch bei der Lektüre dieser Anmeldung sofort klar werden, dass, sofern nicht explizit anders angegeben, zusätzlich zu einer Kombination von Merkmalen, die zu einem Typ von Erfindungsgegenstand gehören, auch eine beliebige Kombination von

Merkmale möglich ist, die zu unterschiedlichen Typen von Erfindungsgegenständen gehören.

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden beispielhaften Beschreibung derzeit bevorzugter Ausführungsformen.

Figur 1 zeigt eine Vorrichtung zum Bestimmen des Öffnungsverhaltens eines Kraftstoffinjektors.

10 Figur 2 zeigt gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung den zeitlichen Verlauf eines an einen Spuleninjektor angelegten Test-Spannungsprofils und den Verlauf der resultierenden Stromstärke, welche durch den Spulenantrieb des Spuleninjektors fließt.

15 Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung von typischen Kraftstoff-Durchflussraten durch einen Kraftstoffinjektor, der in einem Motor-Teststand (a) mit einem Verstärkungsphase aufweisenden Standardserien-Spannungsprofil bzw. (b) mit einem einen Puls mit einer konstanten Testspannung aufweisenden
20 Test-Spannungsprofil beaufschlagt wird.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung des Verlaufs der Stromstärke durch einen Spuleninjektor, welcher ab einem Zeitpunkt $t=0$ mit einer konstanten Test-Spannung beaufschlagt wird.
25

Figur 5 zeigt eine Vorsteuerkennlinie zum optimierten Ansteuern eines Spuleninjektors.

Es wird darauf hingewiesen, dass Merkmale bzw. Komponenten von unterschiedlichen Ausführungsformen, die mit den entsprechenden
30 Merkmalen bzw. Komponenten der Ausführungsform nach gleich oder zumindest funktionsgleich sind, mit den gleichen Bezugszeichen oder mit einem anderen Bezugszeichen versehen sind, welches sich lediglich in seiner ersten Ziffer von dem Bezugszeichen eines
35 (funktional) entsprechenden Merkmals oder einer (funktional) entsprechenden Komponente unterscheidet. Zur Vermeidung von unnötigen Wiederholungen werden bereits anhand einer vorher

beschriebenen Ausführungsform erläuterte Merkmale bzw. Komponenten an späterer Stelle nicht mehr im Detail erläutert.

5 Ferner wird darauf hingewiesen, dass die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen lediglich eine beschränkte Auswahl an möglichen Ausführungsvarianten der Erfindung darstellen. Insbesondere ist es möglich, die Merkmale einzelner Ausführungsformen in geeigneter Weise miteinander zu kombinieren, so dass für den Fachmann mit den hier explizit dargestellt
10 gestellten Ausführungsvarianten eine Vielzahl von verschiedenen Ausführungsformen als offensichtlich offenbart anzusehen sind.

Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 100 zum Bestimmen des Öffnungsverhaltens bzw. der Öffnungsdynamik eines Kraftstoffinjektors. Bei dem nicht dargestellten Kraftstoffinjektor handelt es sich um einen herkömmlichen Kraftstoffinjektor, welcher in bekannter Weise einen Spulenantrieb mit einer Magnetspule aufweist. Durch eine geeignete Erregung der Magnetspule wird ein Magnetfeld erzeugt, welches einen Magnetanker des Spulenantriebs
15 entlang einer Verschiebeachse bewegt. Mit dem Magnetanker ist eine Nadel des Kraftstoffinjektors verbunden, welche abhängig von ihrer Position eine Öffnung des Kraftstoffinjektors schließt oder zum Zwecke einer Kraftstoffeinspritzung für eine gewisse Zeit frei gibt.

25 Die Vorrichtung 100 weist eine Stromregelungseinrichtung 102, eine Messeinrichtung 104 und eine Datenverarbeitungseinrichtung 106 auf. Beim Betrieb des Kraftstoffinjektors wird mittels der Stromregelungseinrichtung 102 der Spulenantriebs mit einem
30 Test-Spannungsprofil beaufschlagt, welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in
35 welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt.

Mittels der Messeinrichtung 104 wird zumindest innerhalb des Test-Zeitfensters der zeitliche Verlauf der Stromstärke des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms gemessen.

5 Die Datenverarbeitungseinrichtung 140, welche insbesondere in einem Motorsteuergerät mittels geeigneter Hardware und/oder mittels Software realisiert sein kann, dient (a) dem Identifizieren zumindest eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke, (b) dem Ermitteln
10 einer Zeitdifferenz zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des identifizierten charakteristischen Merkmals, und (c) dem Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardse-
15 rien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz.

Figur 2 zeigt gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung den zeitlichen Verlauf eines an einen Spuleninjektor angelegten
20 Test-Spannungsprofils und den Verlauf der resultierenden Stromstärke, welche durch den Spulenantrieb des Spuleninjektors fließt. In dem Diagramm von Figur 2 ist auf der Abszisse die Zeit t in der Einheit Millisekunden aufgetragen. Auf der Ordinate ist für die mit "U" bezeichnete Messkurve die an dem Spuleninjektor
25 bzw. an der Spule des Spulenantriebs des Spuleninjektors angelegte Spannung in der Einheit 20 Volt aufgetragen. Für die mit "I" bezeichnete Messkurve ist auf der Ordinate die durch den Spuleninjektor bzw. durch die Spule des Spulenantriebs des Spuleninjektors fließende Stromstärke in der Einheit 2 Ampere
30 aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der Nullpunkt für den Injektorstrom I gegenüber dem Nullpunkt für die Injektorspannung U verschoben.

Wie aus Figur 2 ersichtlich, zeigt das mit U bezeichnete
35 Test-Spannungsprofil einen einfachen Verlauf, bei dem zu einem Zeitpunkt von ca. 0,8 ms ein Spannungspuls angelegt wird, welcher innerhalb eines Test-Zeitfensters von ca. 0,8 ms bis ca. 8,8 ms einen zumindest annähernd konstanten Spannungspegel von ca. 10

Volt annimmt. Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird dieser Spannungspegel aus einer Batteriespannung mittels einer bekannten Spannungsreduzierung erhalten, so dass dieser Spannungspegel auch bei (geringfügigen) Schwankungen der Batteriespannung immer den festen Spannungspegel von ca. 10 Volt annimmt.

Während innerhalb des Test-Zeitfensters die zumindest annähernd konstante Test-Spannung angelegt ist, steigt aufgrund der Induktivität der Spule der Spulenstrom nicht stufenartig sondern in Richtung eines Sättigungswertes von ca. 6A exponentiell an. In diesem exponentiellen Anstieg sind jedoch zwei Wendepunkte oder Knicks vorhanden, welche als (charakteristische) Merkmale 1 und 2 bezeichnet sind. Die physikalische Ursache des Auftretens dieser Merkmale besteht in den relativ abrupten Änderungen der Induktivität der (Magnet)Spule des Spuleninjektors (a) zu dem Zeitpunkt des Beginns der Öffnungsphase des Spuleninjektors (der magnetische Anker beginnt sich aus seiner Schließposition in Richtung seiner Öffnungsposition zu bewegen) und (b) zu dem Zeitpunkt des Endes der Öffnungsphase des Spuleninjektors (der magnetische Anker erreicht gerade seine Öffnungsposition).

Es wird darauf hingewiesen, dass die beiden (charakteristischen) Merkmale 1 und 2 umso stärker ausgeprägt ist, je niedriger die an der Spule angelegte Test-Spannung ist. Um die Merkmale 1 und 2 durch eine geeignete Auswerteeinrichtung und/oder Auswerteprozedur zuverlässig detektieren zu können, sollte die Test-Spannung auf alle Fälle deutlich kleiner sein als eine Verstärkungsspannung, welche beim gewöhnlichen Betrieb des Spuleninjektors zum Zwecke einer möglichst schnellen Öffnung des Spuleninjektors angelegt wird. Gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Test-Spannung durch eine bekannte Spannungsreduzierung auf ein etwas niedrigeres Niveau als die Batteriespannung abgesenkt, so dass die Test-Spannung sogar bei einer geringfügigen Schwankung der Batteriespannung noch zumindest annähernd konstant bleibt.

Durch ein Strommessverfahren wie beispielsweise einer analogen Erfassung des Stromwertes über einen Analog/Digitalwandler eines Mikrocontrollers auf einem Motorsteuergerät ist es möglich in der Testpulsphase die beiden charakteristischen Merkmale 1 und 2 mit
5 einem geeigneten Softwarealgorithmus zu bestimmen.

Es wird darauf hingewiesen, dass eine Detektion der beiden charakteristischen Merkmale 1 und 2 bei der Beaufschlagung des Spuleninjektors mit einem üblichen Standardserien-Spannungs-
10 profils in der Regel nicht möglich ist, da das für einen regulären Betrieb des Spuleninjektors notwendige Standardserien-Spannungsprofil typischerweise aus einer mittels einer sogenannten Boostspannung erzeugten Boostphase und einer sich zeitlich anschließenden Holdphase besteht, die in der Regel
15 mittels der Batteriespannung betrieben wird. Der Beginn des Öffnens des Spuleninjektors befindet sich typischerweise zeitlich im Bereich Boostphase. Das Ende des Öffnens des Spuleninjektors befindet sich typischerweise kurz nach der Boostphase, in dem Bereich der sogenannten Freilaufphase.
20 Während der Boostphase ist der zeitliche Stromgradient stark positiv. Die sich anschließende Freilaufphase zeigt typischerweise einen negativen hohen Stromgradienten. Aus diesem Grund ist die Erkennung der beiden charakteristischen Merkmale 1 und 2 vor dem Hintergrund eines regulären Standardse-
25 rien-Stromprofils mit starken Stromänderungen in der Regel nicht möglich.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung von typischen Kraftstoff-Durchflussraten durch einen Kraftstoffinjektor, der
30 in einem Motor-Teststand (a) mit einem eine Verstärkungsphase aufweisenden Standardserien-Spannungsprofil bzw. (b) mit einem einen Puls mit einer konstanten Testspannung aufweisenden Test-Spannungsprofil beaufschlagt wird.

35 Mit dem Bezugszeichen 310 ist ein Standardserien-Stromprofil bezeichnet, welches sich aus einer Beaufschlagung des Spuleninjektors mit einem eine Boostphase aufweisenden Standardserien-Spannungsprofils ergibt. Die Boostphase beginnt

dabei zum Zeitpunkt Null (Schnittpunkt zwischen Ordinate und Abszisse). Mit dem Bezugszeichen 312 ist die zeitliche Abhängigkeit der resultierenden Kraftstoff-Durchflussrate bezeichnet. Wie aus Figur 3 ersichtlich, beginnt zu einem Zeitpunkt
5 OPP_1_N der Kraftstoffdurchfluss. Daher markiert der Zeitpunkt OPP_1_N den Beginn der Ankerbewegung des Spuleninjektors von seiner Schließposition in Richtung seiner Öffnungsposition. Wie ferner aus Figur 3 ersichtlich, erreicht zu einem Zeitpunkt
10 OPP_2_N der Kraftstoffdurchfluss seinen maximalen Wert. Daher markiert der Zeitpunkt OPP_2_N das Ende der Ankerbewegung des Spuleninjektors von seiner Schließposition in seine Öffnungsposition.

Mit dem Bezugszeichen 320 ist ein Test-Stromprofil bezeichnet,
15 welches sich aus einer Beaufschlagung des Spuleninjektors mit einer zumindest annähernd konstanten Test-Spannung ergibt. Der Beginn des Anlegens der Test-Spannung erfolgt ebenfalls zum Zeitpunkt Null. Mit dem Bezugszeichen 322 ist die zeitliche Abhängigkeit der resultierenden Kraftstoff-Durchflussrate unter
20 dem Einfluss des Test-Stromprofils bezeichnet. Wie aus Figur 3 ersichtlich, beginnt zu einem Zeitpunkt OPP_1_T der Kraftstoff-Durchfluss und der Zeitpunkt OPP_1_T markiert somit den Beginn der Ankerbewegung des Spuleninjektors von seiner Schließposition in Richtung seiner Öffnungsposition. Wie ferner aus
25 Figur 3 ersichtlich, erreicht zu einem Zeitpunkt OPP_2_T der Kraftstoffdurchfluss seinen maximalen Wert. Dieser Zeitpunkt markiert daher das Erreichen der Öffnungsposition des magnetischen Ankers des Spuleninjektors.

30 Aus Figur 3 ist ersichtlich, dass man durch Messungen an einem dafür geeigneten Motor-Prüfstand die zeitlichen Korrelationen Δt_{OPP_1} und Δt_{OPP_2} zwischen den beiden Ereignissen vom Standardserien-Stromprofil (OPP_1_N und OPP_2_N) bzw. Test-Stromprofil (OPP_1_T und OPP_2_T) auf einfache Weise
35 bestimmen kann. Diese Korrelationen können dann im realen Betrieb des Kraftstoffinjektors dazu verwendet werden, um den Kraftstoffinjektor auf optimierte Weise anzusteuern. Dabei wird im realen Betrieb des Kraftstoffinjektors von Zeit zu Zeit ein

Test-Spannungsprofil an die Spule des Kraftstoffinjektors angelegt. Zeigt der Kraftstoffinjektor dann gegenüber einem am Motor-Prüfstand vermessenen Kraftstoffinjektor desselben Typs ein vergleichsweise langsames Öffnungsverhalten, dann wird davon
5 ausgegangen, dass der Kraftstoffinjektor auch unter einer realen Ansteuerung (mit einer Verstärkungsphase) ein vergleichsweise langsames Öffnungsverhalten zeigt. Die Ansteuerung des Kraftstoffinjektors wird dann hin zu etwas früheren Zeiten verschoben, um eine genaue Mengenanpassung für jeden Ein-
10 spritzpuls zu haben. Entsprechendes gilt für einen sich besonders schnell öffnenden Kraftstoffinjektor, bei dem dann in entsprechender Weise die elektrische Ansteuerung im Vergleich zu langsameren Kraftstoffinjektoren etwas später erfolgen kann, um die gleiche Einspritzmenge zu erhalten.

15

Es wird darauf hingewiesen, dass neben der Injektorspannung U und der Injektor-Induktivität L auch die Temperatur T der Spule des Kraftstoffinjektors einen weiteren Einfluss auf den sich einstellenden Injektorstrom I hat. Der Temperatureinfluss ergibt
20 sich aus dem ohmschen Spulenwiderstand $R(T)$, dessen Einfluss auf den Injektorstrom I schematisch in Figur 4 dargestellt ist.

20

In Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung des Verlaufs der Stromstärke durch einen Spuleninjektor, welcher ab einem
25 Zeitpunkt $t=0$ (Schnittpunkt der Abszisse mit der Ordinate) mit einer konstanten Test-Spannung beaufschlagt wird. Mit dem Bezugszeichen 450 ist ein zeitlicher Stromverlauf durch einen realen Spuleninjektor bezeichnet, welcher sowohl eine gewisse Induktivität als auch einen gewissen (temperaturabhängigen)
30 elektrischen Widerstand aufweist. Mit dem Bezugszeichen 452 ist ein zeitlicher Stromverlauf durch einen imaginären Spuleninjektor bezeichnet, welcher lediglich einen elektrischen Widerstand aufweist. Der Spulenstrom I ergibt sich aus folgender Gleichung:

30

35

$$I = U / R(T)$$

Dabei ist U die an den Spuleninjektor angelegte konstante Spannung und $R(T)$ ist der temperaturabhängige elektrische Widerstand. Da bei einer höheren Temperatur der elektrische

Widerstand der Spule typischerweise ansteigt, verschiebt sich bei einer Temperaturerhöhung die horizontale Gerade 452 nach unten.

- 5 Mit dem Bezugszeichen 454 ist ein zeitlicher Stromverlauf durch einen imaginären Spuleninjektor bezeichnet, welcher lediglich eine Induktivität aufweist. Der Spulenstrom I ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$I = (U / L) \cdot t$$

- 10 Dabei ist U erneut die an den Spuleninjektor angelegte konstante Spannung. L ist die Spuleninduktivität und t die Zeit.

Wie aus Figur 4 ersichtlich, wird der Verlauf 450 des realen Spuleninjektors für sehr kleine Zeiten durch die Kurve 452 und
15 für sehr große Zeiten durch die Kurve 454 beschrieben.

Durch geeignete temperaturabhängige Vorsteuerkennlinien oder Vorsteuerkennfelder kann die Korrelation zwischen dem Beginn der Öffnungsbewegung eines Spuleninjektors unter dem Einfluss eines
20 Test-Spannungsprofils und dem Beginn der Öffnungsbewegung eines Spuleninjektors unter dem Einfluss eines Standardserien-Spannungsprofils beschrieben werden. Entsprechendes gilt für die Korrelation zwischen dem Ende der Öffnungsbewegung eines Spuleninjektors unter dem Einfluss eines Test-Spannungsprofils
25 und dem Ende der Öffnungsbewegung eines Spuleninjektors unter dem Einfluss eines Standardserien-Spannungsprofils. Damit kann dann im realen Betrieb des Kraftstoffinjektors nach einer zwischenzeitlichen Vermessung des Öffnungsverhaltens unter dem Einfluss eines Test-Spannungsprofils durch eine einfache
30 Subtraktion der entsprechenden Zeitpunkte für ein Standardserien-Spannungsprofil der Beginn und das Ende der Öffnungsbewegung bestimmt werden.

Figur 5 zeigt eine beispielhafte Vorsteuerkennlinie zum optimierten Ansteuern eines Spuleninjektors, welche die Zeitspanne
35 Δt_{OPP_X} als Funktion der Temperatur des Spuleninjektors (Injektortemperatur) angibt. Dabei steht "X" entsprechend der in

Figur 3 angegebenen Zeitspannen Δt_{OPP_1} und Δt_{OPP_2} für 1 oder 2.

Durch die Kenntnis der Zeitpunkte für den Beginn und das Ende der
5 Öffnungsbewegung des Spuleninjektors unter dem Einfluss des
Standardserien-Spannungsprofils kann durch eine geeignete
Anpassung der Bestromungsdauer die Einspritzmenge genauer
eingestellt werden.

10 Ist dabei der Beginn der Öffnungsbewegung zeitlich verschoben,
so kann dies durch eine entsprechende Verschiebung des
Strombeginns korrigiert werden. Ist das Ende der Öffnungs-
bewegung zeitlich verschoben, so kann dies durch eine ent-
sprechende Verschiebung des Stromendes korrigiert werden.

15

Es wird darauf hingewiesen, dass die aufzuprägende Korrektur von
weiteren physikalischen Systemparametern wie z.B. der
Kraftstofftemperatur, dem Abstand zur vorherigen Einspritzung,
etc. abhängen kann. Diese Abhängigkeiten können nach ent-
20 sprechenden Messungen in einem Motor-Prüfstand ebenfalls in
geeigneten Vorsteuerkennlinien oder -Vorsteuerkennfeldern
abgelegt oder ggf. auch durch ein Model beschrieben werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges, das Verfahren aufweisend

5 Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil (U), welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine zumindest annähernd konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt,

10 Messen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke (I) des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters,

Identifizieren zumindest eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke (I),

20 Ermitteln einer Zeitdifferenz (OPP_2_T) zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des identifizierten charakteristischen Merkmals, und

Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz (OPP_2_T).

2. Verfahren gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei das charakteristische Merkmal für das Erreichen der Öffnungsposition indikativ ist.

3. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend

Identifizieren zumindest eines weiteren charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke (I), und

Ermitteln einer weiteren Zeitdifferenz (OPP_1_T) zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des Weiteren identifizierten charakteristischen Merkmals, wobei das zeitliche Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, zusätzlich als Funktion der ermittelten weiteren Zeitdifferenz (OPP_1_T) bestimmt wird.

10 4. Verfahren gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei das weitere charakteristische Merkmal für das Verlassen der Schließposition indikativ ist.

15 5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Test-Spannung einen Pegel aufweist, welcher kleiner ist als oder welcher gleich groß ist wie der Spannungspegel einer Batterie des Kraftfahrzeugs.

20 6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das charakteristische Merkmal und/oder das weitere charakteristische Merkmal ein Wendepunkt in dem zeitlichen Verlauf der Stromstärke (I) des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters ist.

25 7. Verfahren zum Bestimmen einer Korrelation zwischen einem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und einem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges, das Verfahren aufweisend

30 Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil (U), welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine konstante Test-Spannung aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt,

35

Messen des zeitlichen Verlaufs einer Test-Kraftstoff-Durchflussrate (322) durch den Kraftstoffinjektor während des Test-Zeitfensters,

5 Ermitteln einer ersten zeitlichen Verzögerung (OPP_2_T) zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Test-Zeitfensters und dem Zeitpunkt des Erreichens einer maximalen Test-Kraftstoff-Durchflussrate,

Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil,

10 Messen des zeitlichen Verlaufs einer Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate (312) durch den Kraftstoffinjektor unter dem Einfluss des Standardserien-Spannungsprofils,

Ermitteln einer zweiten zeitlichen Verzögerung (OPP_2_N) zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Standardserien-Spannungsprofils und dem Zeitpunkt des Erreichens einer maximalen Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate, und

15 Bestimmen der Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten anhand eines Vergleichs zwischen der ersten zeitlichen Verzögerung (OPP_2_T) und der zweiten zeitlichen Verzögerung (OPP_2_N).

8. Verfahren gemäß dem vorangehenden Anspruch, ferner aufweisend

25 Ermitteln einer weiteren ersten zeitlichen Verzögerung (OPP_1_T) zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Test-Zeitfensters und dem Zeitpunkt zu dem erstmalig eine von Null verschiedene Test-Kraftstoff-Durchflussrate auftritt, und

30 Ermitteln einer weiteren zweiten zeitlichen Verzögerung (OPP_1_N) zwischen dem Zeitpunkt des Beginns des Standardserien-Spannungsprofils und dem Zeitpunkt, zu dem erstmalig eine von Null verschiedene Standardserien-Kraftstoff-Durchflussrate auftritt,

wobei

35 die Korrelation zwischen dem zeitlichen Test-Öffnungsverhalten und dem zeitlichen Standardserien-Öffnungsverhalten ferner anhand eines Vergleichs zwischen der weiteren ersten zeitlichen Verzögerung (OPP_1_T) und der weiteren zweiten zeitlichen Verzögerung (OPP_1_N) bestimmt wird.

9. Verfahren zum Ansteuern eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges, das Verfahren aufweisend

Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors nach einem Verfahren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 7,

Anpassen der elektrischen Ansteuerung des Kraftstoffinjektors basierend auf dem bestimmten zeitlichen Öffnungsverhalten so dass mit einem Einspritzvorgang eine vorbestimmte Menge an Kraftstoff injiziert wird.

10. Vorrichtung zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoffinjektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges, die Vorrichtung (100) aufweisend

eine Stromregelungseinrichtung (102) zum Beaufschlagen des Spulenantriebs mit einem Test-Spannungsprofil, welches innerhalb eines vorbestimmten Test-Zeitfensters eine konstante Test-Spannung (U) aufweist, so dass sich ein Magnetanker des Spulenantriebs von einer Schließposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geschlossen ist, in eine Öffnungsposition, in welcher der Kraftstoffinjektor vollständig geöffnet ist, bewegt,

eine Messeinrichtung (104) zum Messen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke (I) des durch den Spulenantrieb fließenden Stroms innerhalb des Test-Zeitfensters, und

eine Datenverarbeitungseinrichtung (106) zum

(a) Identifizieren zumindest eines charakteristischen Merkmals in dem gemessenen zeitlichen Verlauf der Stromstärke (I),

(b) Ermitteln einer Zeitdifferenz (OPP_2_T) zwischen dem Beginn des Test-Zeitfensters und dem Auftreten des identifizierten charakteristischen Merkmals, und

(c) Bestimmen des zeitlichen Öffnungsverhaltens des Kraftstoffinjektors, welches sich bei einer Beaufschlagung des Spulenantriebs mit einem Standardserien-Spannungsprofil ergibt, als Funktion der ermittelten Zeitdifferenz (OPP_2_T).

11. Computerprogramm zum Bestimmen des zeitlichen Öffnungs-
verhaltens eines einen Spulenantrieb aufweisenden Kraftstoff-
injektors für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges,
wobei das Computerprogramm, wenn es von einem Prozessor aus-
5 geführt wird, zum Durchführen des Verfahrens nach einem der
Ansprüche 1 bis 7 eingerichtet ist.

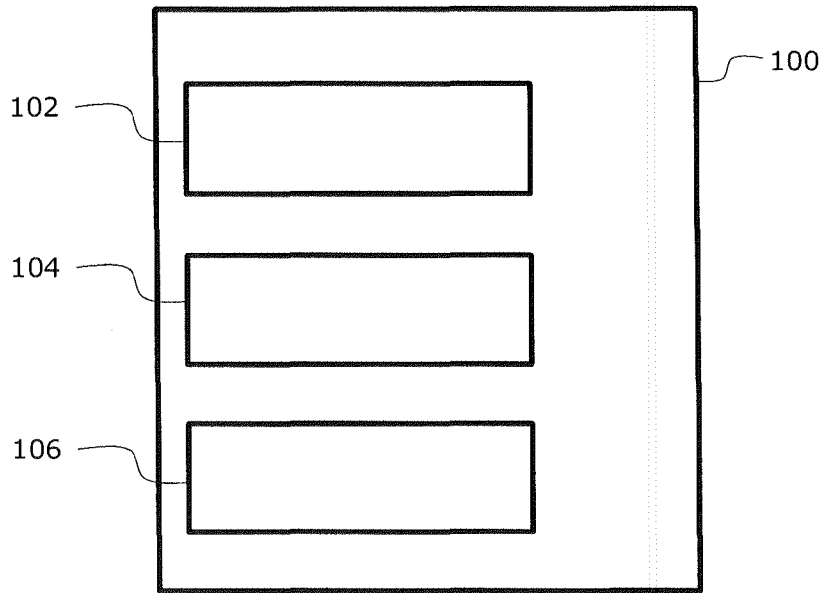


Fig. 1

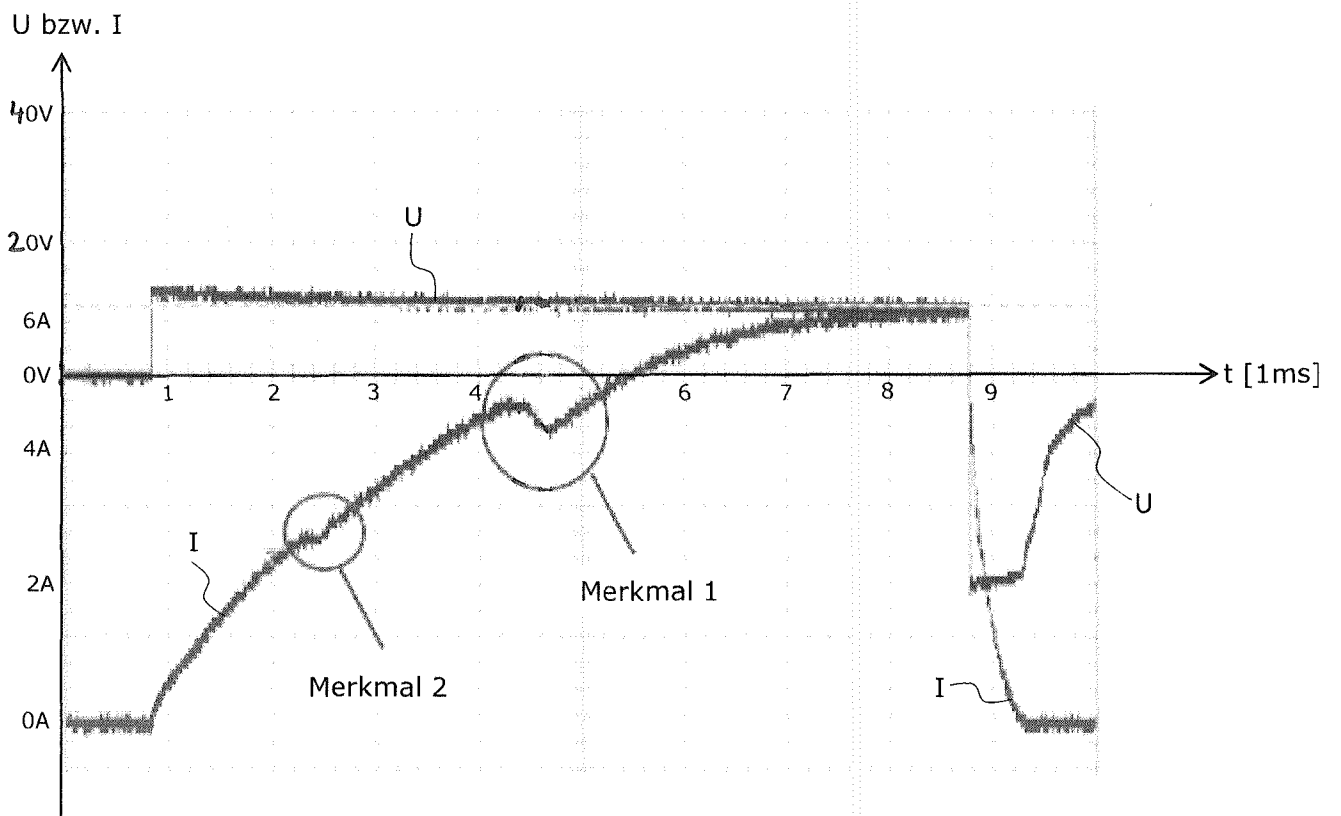


Fig. 2

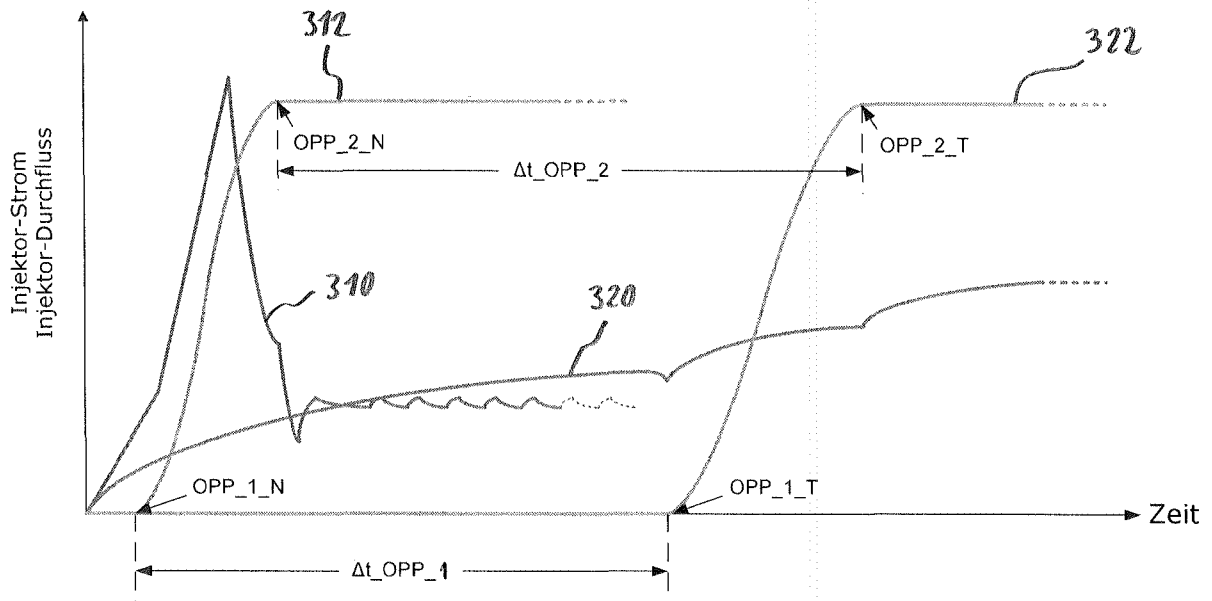


Fig. 3

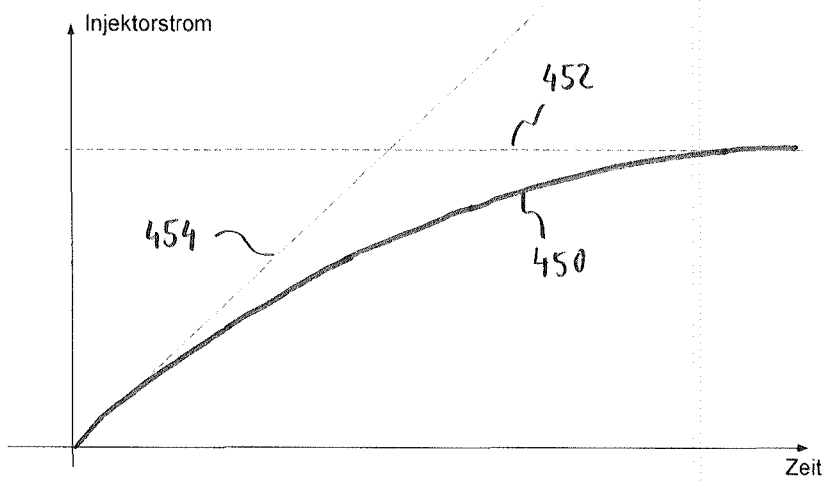


Fig. 4

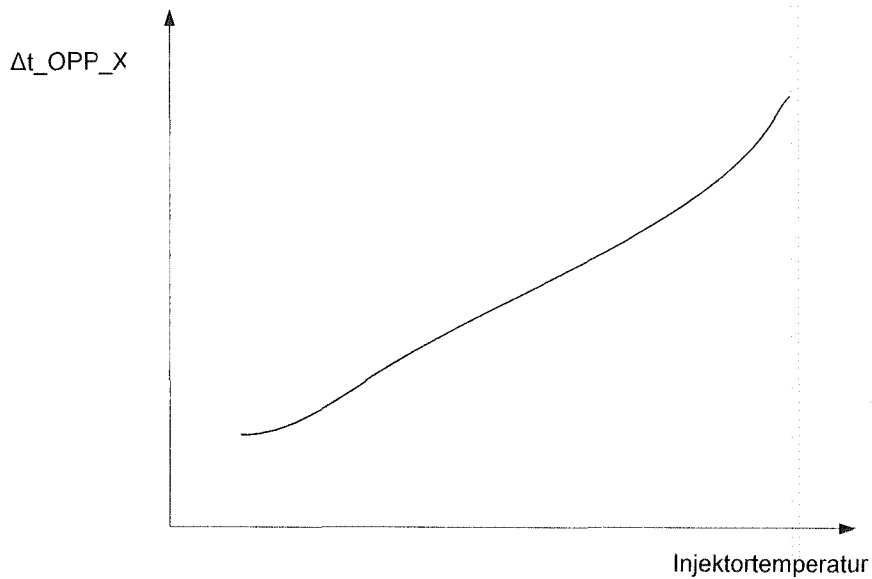


Fig. 5