

(19)



(11)

**EP 2 796 691 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**29.10.2014 Patentblatt 2014/44**

(51) Int Cl.:  
**F02D 41/14<sup>(2006.01)</sup> F02D 41/24<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **13005489.3**

(22) Anmeldetag: **25.11.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:  
 • **Christ, Konrad**  
**1630 Bulle (CH)**  
 • **Masson, François**  
**1752 Villars-sur-Glâne (CH)**  
 • **Pirkel, Richard**  
**1630 Bulle (CH)**

(30) Priorität: **19.04.2013 CH 8032013**

(71) Anmelder: **Liebherr Machines Bulle SA**  
**1630 Bulle (CH)**

(74) Vertreter: **Laufhütte, Dieter et al**  
**Lorenz-Seidler-Gossel**  
**Widenmayerstrasse 23**  
**80538 München (DE)**

(54) **Steuerung für ein Einspritzsystem**

(57) Die Erfindung betrifft eine Steuerung für ein Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren (11,12, ..li) aufweist, mit einer Kennfeldsteuerung (5), welche aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Steuerwert zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors erzeugt, mit einer Bestimmungseinheit (6), welche zu mindestens einer mit dem Kraftstoffinjektor vorgenommenen Einspritzung den tatsächlichen Einspritzwert ermittelt, und mit einer Adaptionseinheit (7), welche die Ergebnisse der Bestimmungseinheit verwendet, um die Ansteuerung der Kraft-

stoff-Injektoren anzupassen. Erfindungsgemäß wird die Adaptionseinheit aus dem mindestens einem tatsächlichen Einspritzwert mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung bestimmt, wobei die Adaptionseinheit im Motorbetrieb die durch die Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte als Input erhält und aus diesen angepasste Ansteuerwerte als Output erzeugt, indem sie auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion anwendet, wobei der mindestens eine Adaptionswert als Parameter in die erste mathematische Funktion eingeht.

**EP 2 796 691 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuerung für ein Einspritzsystem mit mehreren Kraftstoffinjektoren. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung dabei eine Steuerung für ein Common-Rail-Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren, eine gemeinsame Kraftstoffzuleitung für die Kraftstoffinjektoren und eine Hochdruckpumpe zum Versorgen der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung mit Kraftstoff aufweist. Insbesondere handelt es sich dabei um die Steuerung eines Einspritzsystems, insbesondere eines Common-Rail-Einspritzsystems, eines Dieselmotors.

**[0002]** Bei der Ansteuerung eines Motors spielt die präzise Dosierung der eingespritzten Kraftstoffmenge eine wesentliche Rolle im Hinblick auf die darauffolgende Verbrennung und die daraus entstehenden Abgase. Aufgrund von fertigungsbedingten Bauteilstreuungen der Kraftstoffinjektoren und Alterungserscheinungen während des Motorbetriebs müssen diese während des Motorlaufs kalibriert werden. Dies bedeutet, dass Abweichungen bzw. Drifts in der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge erkannt, quantifiziert und durch eine entsprechende Anpassung der Injektoransteuerung ausgeglichen werden müssen.

**[0003]** Die Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren beruht dabei üblicherweise auf einer Kennfeldsteuerung, welche aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Ansteuerwert zur Ansteuerung des Kraftstoffinjektors erzeugt. Üblicherweise umfasst das Kennfeld dabei für mehrere unterschiedliche Drücke im Einspritzsystem Kennlinien, welche den Steuerwert in Abhängigkeit von dem gewünschten Einspritzwert beschreiben. Die Kennfelder bzw. Kennlinien sind dabei üblicherweise als Tabellen in der Steuerung hinterlegt, da die meist relativ komplexe Abhängigkeit der Steuerwerte von den gewünschten Einspritzwerten normalerweise nicht über eine mathematische Funktion dargestellt werden kann.

**[0004]** Im Hinblick auf die Anpassung der Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren besteht das übliche Vorgehen dabei darin, die Einspritzwerte während des laufenden Motorbetriebes zu überwachen und dann, wenn Abweichungen zu den gewünschten Einspritzwerten festgestellt werden, das in der Kennfeldsteuerung abgelegte Kennfeld entsprechend anzupassen.

**[0005]** So ist es beispielsweise aus der DE 197 26 100 B4 bekannt, die Werte innerhalb des Kennfeldes, welche in einer Umgebung der Werte für eine Kraftstoffeinspritzung, die zur Adaption des Kennfeldes herangezogen werden soll, liegen, anzupassen. Dieses Vorgehen bedeutet jedoch einen hohen Aufwand, da beständig eine große Anzahl von Werten aus dem Kennfeld korrigiert bzw. angepasst werden muss.

**[0006]** Aus der DE 10 2008 051 820 A1 ist es weiterhin bekannt, im Betrieb des Kraftstoffinjektors eine Mengenabweichung einer tatsächlichen Einspritzmenge von einer nominalen Einspritzmenge zu ermitteln und anhand dieser Mengenabweichung eine typische Einspritzkennlinie des Kraftstoffinjektors an eine nominale Einspritzkennlinie zu adaptieren. Dabei wird die typische Einspritzkennlinie wenigstens in einem Teilabschnitt verschoben, gedreht oder in Ihrer Form angepasst. Die typische Einspritzkennlinie erhält hierdurch eine neue Form oder Lage, welche der nominalen Einspritzkennlinie nahekommt. Allerdings bedeutet auch dieses Vorgehen ein umfangreiches Verändern der Werte für die Kennlinien. Weiterhin stellt die DE 10 2008 051 820 kein Verfahren zur Verfügung, wie eine entsprechende Adaption der typischen Kennlinien effizient vorgenommen werden kann.

**[0007]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Steuerung für ein Einspritzsystem zur Verfügung zu stellen, welche eine einfache und dennoch genaue Anpassung der Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren erlaubt.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Steuerung gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 15 gelöst.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung umfasst dabei eine Steuerung für ein Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren aufweist. Dabei ist eine Kennfeldsteuerung vorgesehen, welche aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Steuerwert zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors erzeugt. Weiterhin ist eine Bestimmungseinheit vorgesehen, welche zu mindestens einer mit dem Kraftstoffinjektor vorgenommenen Einspritzung den tatsächlichen Einspritzwert ermittelt. Weiterhin ist eine Adaptionseinheit vorgesehen, welche die Ergebnisse der Bestimmungseinheit verwendet, um die Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren anzupassen. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Adaptionseinheit aus dem mindestens einen tatsächlichen Einspritzwert mindestens einen Adaptionwert für die Injektoransteuerung bestimmt, wobei die Adaptionseinheit im Motorbetrieb die durch die Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte als Input erhält und aus diesen angepasste Ansteuerwerte als Output erzeugt, indem sie auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion anwendet, wobei der mindestens eine Adaptionwert als Parameter in die erste mathematische Funktion eingeht.

**[0010]** Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben dabei erkannt, dass es zur Anpassung der Ansteuerung der Injektoren nicht notwendig ist, das Kennfeld der Kennfeldsteuerung zu ändern. Denn das Kennfeld selbst ist zwar üblicherweise sehr komplex und kann nicht durch einfache mathematische Funktionen beschrieben werden. Der Drift des Kennfeldes, d.h. die Unterschiede zwischen unterschiedlichen Injektoren gleicher Bauart, oder die Veränderung des Injektorverhaltens über die Zeit, wirken sich auf das Injektorkennfeld dagegen in einer Form aus, welche sehr gut über eine einfache mathematische Funktion beschrieben werden kann.

**[0011]** Die vorliegende Erfindung nutzt diese Tatsache aus, indem sie die Kennfeldsteuerung der Steuereinheit selbst

nicht verändert, sondern lediglich den von der Kennfeldsteuerung ausgegebenen Ansteuerwert anpasst, um den Drift im Kennfeld zu berücksichtigen. Hierdurch ergibt sich bei einem äußerst einfachen Aufbau der Steuerung dennoch eine sehr gute Genauigkeit bei der Einspritzung.

**[0012]** Die Kennfeldsteuerung, welche aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Ansteuerwert zur Ansteuerung des Kraftstoffinjektors erzeugt, kann dabei wie aus dem Stand der Technik bekannt ausgeführt sein. Insbesondere kann das Kennfeld dabei für mehrere unterschiedliche Drücke im Einspritzsystem Kennlinien, welche den Steuerwert in Abhängigkeit von dem gewünschten Einspritzwert beschreiben, enthalten. Die Kennfelder bzw. Kennlinien sind dabei bspw. als Tabellen in der Steuerung hinterlegt. Insbesondere können die Kennfelder bzw. Kennlinien dabei eine komplexe Abhängigkeit der Steuerwerte von den gewünschten Einspritzwerten darstellen, welche nicht über eine mathematische Funktion dargestellt werden kann, insbesondere nicht über eine analytische Funktion.

**[0013]** Vorteilhafterweise erhält die Kennfeldsteuerung dabei die für den normalen Motorbetrieb angeforderten Einspritzwerte, insbesondere die angeforderten Einspritzmengen, als Input und erzeugt hieraus anhand eines Kennfeldes die Ansteuerwerte, welche erfindungsgemäß durch die Adaptionseinheit angepasst werden.

**[0014]** Vorteilhafterweise umfasst die Steuerung dabei einen Motorsteuerungsblock, welcher die angeforderten Einspritzwerte auf Grundlage von Motorbetriebsbedingungen und/oder vom Fahrer erzeugten Steuersignalen ermittelt, insbesondere aus der gewünschten Drehzahl und/oder dem gewünschten Drehmoment des Motors.

**[0015]** In einer bevorzugten Ausführungsform bestimmt die Adaptionseinheit den mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung, indem sie den Zusammenhang zwischen dem mindestens einen tatsächlichen Einspritzwert und dem entsprechenden Ansteuerwert durch eine zweite mathematische Funktion annähert, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht. Insbesondere kann die Adaptionseinheit dabei eine Annäherungsfunktion aufweisen, welche den mindestens einen Adaptionswert ermittelt, durch welche die zweite mathematische Funktion den Zusammenhang zwischen dem mindestens einen tatsächlichen Einspritzwert und dem entsprechenden Ansteuerwert optimal wiedergibt.

**[0016]** Damit werden der bzw. die Adaptionswerte dadurch bestimmt, dass die Kennlinie des Injektors durch die zweite mathematische Funktion angenähert wird. Auch wenn die zweite mathematische Funktion dabei die tatsächliche Kennlinie nur sehr grob wiedergibt, kann hierdurch dennoch mit hoher Zuverlässigkeit mindestens ein Adaptionswert berechnet werden, durch welchen sich in der erfindungsgemäßen Adaptionseinheit die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte anpassen lassen.

**[0017]** Die zweite mathematische Funktion, welche die Kennlinie nur relativ grob beschreibt, wird damit nicht als Ersatz der in der Kennfeldsteuerung abgelegten Kennlinie eingesetzt, sondern lediglich mit dieser überlagert, um einen Drift der Kennlinie auszugleichen.

**[0018]** Bevorzugt bestimmt die Adaptionseinheit den mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung auf Grundlage einer Mehrzahl von tatsächlichen Einspritzwerten, welche unterschiedlichen gewünschten Einspritzwerten entsprechen. Insbesondere sind die Einspritzwerte dabei vorteilhafterweise über einen Bereich der Kennlinie des Injektors verteilt.

Vorteilhafterweise nähert die Adaptionseinheit dabei den Zusammenhang zwischen den mehreren tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten durch eine zweite mathematische Funktion an, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht. Durch die Verwendung mehrerer tatsächlicher Einspritzwerte kann dabei die Genauigkeit der Bestimmung des mindestens einen Adaptionswerts erhöht werden.

**[0019]** Vorteilhafterweise wird der mindestens eine Adaptionswert dabei so gewählt, dass die zweite mathematische Funktion den Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten minimiert. Vorteilhafterweise wird dabei die Methode der kleinsten Quadrate über die Differenz zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den anhand der zweiten mathematischen Funktion aus den entsprechenden Ansteuerwerten ermittelten Einspritzwerten herangezogen.

**[0020]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die erste mathematische Funktion zusätzlich von mindestens einem Soll-Adaptionswert abhängt. Insbesondere kann dieser Soll-Adaptionswert dabei das Kennfeld der Kennfeldsteuerung näherungsweise beschreiben.

**[0021]** Vorteilhafterweise ist dabei vorgesehen, dass der durch das Kennfeld der Kennfeldsteuerung ausgedrückte Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten durch eine dritte mathematische Funktion angenähert wird, in welche der mindestens eine Soll-Adaptionswert als Parameter eingeht.

**[0022]** Der Soll-Adaptionswert ermöglicht es damit, durch einen Vergleich mit den Ist-Adaptionswerten den Drift der Kennfelder zu ermitteln.

**[0023]** Vorteilhafterweise kann dabei der mindestens eine Soll-Adaptionswert herstellerseitig in der Adaptionseinheit abgespeichert sein. Vorteilhafterweise wird der Soll-Adaptionswert dabei über den Betrieb der Motorsteuerung nicht verändert.

**[0024]** Erfindungsgemäß kann weiterhin vorgesehen sein, dass die von der Steuereinheit verwendete erste mathematische Funktion die Abweichung einer zweiten mathematischen Funktion, welche den Zusammenhang zwischen den

tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten näherungsweise beschreibt, von einer dritten mathematischen Funktion darstellt, welche den durch die Kennfeldsteuerung ausgedrückten Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten näherungsweise beschreibt. Die erfindungsgemäße mathematische Funktion beschreibt damit den Drift der Kennfeldsteuerung, welcher erheblich einfacher mathematisch beschrieben werden kann als das Kennfeld selber.

**[0025]** Erfindungsgemäß kann es sich dabei bei der zweiten und der dritten mathematischen Funktion um zwei bis auf die als Parameter eingesetzten Adaptionswerte bzw. Soll-Adaptionswerte identische Funktionen handeln. Dies bedeutet, dass für den Fall, dass Adaptionswert und Soll-Adaptionswert übereinstimmen, auch die zweite und dritte mathematische Funktion übereinstimmen.

**[0026]** Vorteilhafterweise stimmt auch die erste mathematische Funktion mit der zweiten und/oder dritten Funktion bis auf die Parametrisierung der Funktion überein.

**[0027]** Vorteilhafterweise handelt es sich bei der ersten bis dritten Funktion um eine analytische Funktion. Besonders bevorzugt handelt es sich bei der ersten bis dritten Funktion um ein Polynom. Bei den Adaptionswerten bzw. Soll-Adaptionswerten handelt es sich dabei vorteilhafterweise um die Koeffizienten der Terme innerhalb des Polynoms.

**[0028]** Vorteilhafterweise handelt es sich bei der ersten, der zweiten und/oder der dritten mathematischen Funktion dabei um ein Polynom mindestens erster und maximal fünfter Ordnung. Hierdurch kann der Drift in den Kennfeldwerten noch mit einem relativ geringen Aufwand beschrieben werden. Dieser Aufwand reicht jedoch aus, da der Drift üblicherweise nicht besonders komplex ist.

**[0029]** Besonders bevorzugt handelt es sich bei der ersten, der zweiten und/oder der dritten mathematischen Funktion dabei um eine lineare Funktion, welche damit von zwei Parametern abhängt.

**[0030]** Vorteilhafterweise nähern die zweite und die dritte mathematische Funktion damit den Zusammenhang zwischen den Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten als eine lineare Funktion an. Weiterhin vorteilhafterweise beschreibt die erste mathematische Funktion ein Offset- und einen linearen Drift des Zusammenhangs zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten im Vergleich zu dem durch die Kennfeldsteuerung ausgedrückten Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten.

**[0031]** Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben dabei erkannt, dass diese relativ einfache mathematische Funktion bereits ausreicht, um die Kennfeldsteuerung mit hoher Genauigkeit an den Drift anzupassen.

**[0032]** Die erste mathematische Funktion beschreibt dabei erfindungsgemäß den Drift in den durch die Kennfeldsteuerung ermittelten Ansteuerwerten zumindest über einen Teilbereich des gesamten Wertebereichs der Ansteuerwerte. Besonders bevorzugt beschreibt die erste mathematische Funktion dabei den gesamten Wertebereich der Ansteuerwerte. Insbesondere werden damit nicht unterschiedliche Abschnitte der Kennlinie mit unterschiedlichen Funktionen angepasst. Hierdurch ergibt sich eine besonders einfache und dennoch noch ausreichend genaue Anpassung.

**[0033]** Bevorzugt nähern die zweite und/oder dritte mathematische Funktion die Kennlinie dementsprechend zumindest über einen Teilbereich an, und bevorzugt über den gesamten Ansteuerbereich.

**[0034]** Bevorzugt wird der mindestens eine Adaptionswert dabei erfindungsgemäß rekursiv bestimmt. Insbesondere kann dabei aus einer Schätzung des mindestens einen Adaptionswertes zu einem Zeitpunkt n-1 anhand einer neuen Messgröße eine neue Schätzung zum Zeitpunkt n erzeugt werden.

**[0035]** Erfindungsgemäß kann es sich bei dem Einspritzwert bevorzugt um die Einspritzmenge und/oder der Einspritzdauer und/oder den Einspritzbeginn und/oder das Einspritzende handeln.

**[0036]** Weiterhin kann es sich bevorzugt bei dem Ansteuerwert um die Ansteuerdauer und/oder den Ansteuerbeginn und/oder das Ansteuerende des Kraftstoffinjektors handeln.

**[0037]** So kann beispielsweise das Kennfeld die Ansteuerdauer des Kraftstoffinjektors in Abhängigkeit von der gewünschten Einspritzmenge darstellen, oder den Ansteuerbeginn in Abhängigkeit von dem gewünschten Einspritzbeginn.

**[0038]** Vorteilhafterweise beschreiben die zweite und/oder die dritte mathematische Funktion dabei annähernd die tatsächliche Einspritzmenge bzw. die Soll-Einspritzmenge in Abhängigkeit von der Ansteuerdauer oder umgekehrt die Ansteuerdauer in Abhängigkeit von der tatsächlichen Einspritzmenge und/oder der Soll-Einspritzmenge. In gleicher Weise können die zweite und die dritte Funktion natürlich auch den Zusammenhang zwischen Einspritzbeginn und Ansteuerbeginn darstellen.

**[0039]** Erfindungsgemäß kann der mindestens eine Adaptionswert anhand von Einspritzungen ermittelt werden, welche im normalen Motorbetrieb erfolgen.

**[0040]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird der mindestens eine Adaptionswert jedoch anhand mindestens einer Testeinspritzung ermittelt. Bei dieser Ausführungsform werden die Adaptionswerte damit nicht anhand der während des laufenden Motorbetriebs ohnehin vorgenommenen Einspritzung ermittelt, sondern anhand spezifisch für diese Adaption vorgenommenen Testeinspritzungen.

**[0041]** Vorteilhafterweise werden dabei mehrere Testeinspritzungen mit unterschiedlichen gewünschten Einspritzwerten durchgeführt und gehen in die Bestimmung des Adaptionswertes ein. Hierdurch können unterschiedliche Messpunkte über die Kennlinie angefahren werden, welche insbesondere eine bessere Annäherung der zweiten mathematischen Funktion an die tatsächliche Kennlinie und damit eine genauere Bestimmung der Adaptionswerte ermöglicht.

**[0042]** Die Einspritzmenge der Testeinspritzungen kann dabei bevorzugt zwischen 2 mg und 80 mg liegen, weiterhin bevorzugt zwischen 5 mg und 50 mg. Zu kleine Einspritzmengen liefern dabei nicht mehr hinreichend genaue Ergebnisse, zu große Einspritzmengen sind schwierig in den normalen Motorbetrieb einzugliedern.

**[0043]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass sich die Testeinspritzungen über einen Bereich von mehr als 10 mg, bevorzugt von mehr als 20 mg und weiterhin mehr als 30 mg erstrecken.

**[0044]** Weiterhin liegt die Anzahl der unterschiedlichen Ansteuerdauern und/oder Einspritzmengen bevorzugt zwischen 2 und 20, weiterhin bevorzugt zwischen 4 und 10.

**[0045]** Beides trägt dazu bei, eine relativ hohe Genauigkeit der Adaption bei einem vertretbaren Aufwand zu erreichen.

**[0046]** Vorteilhafterweise nimmt die Bestimmungseinheit dabei die mindestens eine Testeinspritzung mit vorgegebenen Ansteuerwerten vor. Vorteilhafterweise sind die vorgegebenen Ansteuerwerte dabei unabhängig von den für den normalen Motorbetrieb gewünschten Ansteuerwerten.

**[0047]** Vorteilhafterweise können dabei in der Steuerung mehrere Test-Einspritzwerte oder Test-Ansteuerwerte abgelegt sein, welche zur Durchführung der Adaption im Rahmen von Testeinspritzungen angefahren werden.

**[0048]** Dabei kann eine spezifisch an die Adaption angepasste Testroutine eingesetzt werden, wodurch eine entsprechend bessere Reproduzierbarkeit und erhöhte Genauigkeit erreicht wird.

**[0049]** Als Grundlage für die Korrektur der erfindungsgemäßen Injektoransteuerung kann ein Messsignal eingesetzt werden, aus welchem sich das Ist-Verhalten des betrachteten Injektors ableiten lässt. Hierfür können unterschiedlichste Motorsensoren eingesetzt werden.

**[0050]** Beispielsweise kann als Motorsensor dabei ein Drucksensor in der Zuleitung des Kraftstoffinjektors eingesetzt werden, und/oder ein Klopfsensor. Alternativ oder zusätzlich kann auch die Motordrehzahl, das Motordrehmoment und/oder die Injektorspannung als Sensorsignal eingesetzt werden. Vorteilhafterweise lässt sich aus dem Messsignal dabei der bei Ansteuerung mit einem bestimmten Ansteuerwert erreichte tatsächliche Einspritzwert ermitteln.

**[0051]** Insbesondere kann es sich dabei um die Ist-Einspritzmenge und/oder die Ist-Einspritzdauer und/oder den Ist-Einspritzbeginn und/oder das Ist-Einspritzende der Injektoransteuerung handeln.

**[0052]** Die durch die Bestimmungseinheit vorgenommene Bestimmung kann während des normalen Betriebs des Motors durchgeführt werden, indem die Testeinspritzungen zusätzlich zu den normalen Einspritzungen für den Motorbetrieb erfolgen.

**[0053]** Insbesondere kann es sich dabei bei der Testeinspritzung um eine vor bzw. nach der Haupteinspritzung erfolgende Vor-Einspritzung bzw. Nach-Einspritzung handeln. Um den Motorbetrieb möglichst wenig zu beeinflussen, kann die Einspritzmenge der Testeinspritzung dabei unter 100mg gewählt werden, bevorzugt unter 50mg. Eine typische Testeinspritzmenge kann dabei beispielsweise 20mg betragen.

**[0054]** Vorteilhafterweise weist die erfindungsgemäße Steuerung eine Aktivierungseinheit auf, welche die Bestimmungseinheit dazu veranlasst, den Auswertungsbetrieb zu beginnen und eine Testroutine einzuleiten, bei welcher mindestens eine Testeinspritzung vorgenommen wird. Die Aktivierung der Bestimmungseinheit kann dabei beispielsweise in vorgegebenen Abständen erfolgen.

**[0055]** Eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Steuerung umfasst dabei eine Überwachungseinheit zur Überwachung des Motorbetriebs, welche so mit der Bestimmungseinheit in Verbindung steht, dass die Bestimmung der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge oder des hiervon abgeleitenden Wertes durch die Bestimmungseinheit in für die Bestimmung geeigneten Betriebszuständen des Motors durchgeführt wird. Insbesondere sollten dabei transiente Betriebszustände des Motors vermieden werden, da diese die Genauigkeit der Bestimmung verringern können.

**[0056]** Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die Bestimmung bei einem gleichbleibenden Soll-Druck in der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung vorgenommen wird, und/oder bei gleichbleibender Drehzahl des Motors, und/oder bei gleichbleibenden Einspritzwerten für den normalen Motorbetrieb, und/oder gleichbleibender Temperatur in der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn mehrere Messungen und insbesondere mehrere Testeinspritzungen durchgeführt werden, so dass Veränderungen der Betriebsbedingungen sich auf die Messung auswirken würden.

**[0057]** Weiterhin kann die Einleitung der Bestimmung der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge oder eines hiervon abgeleiteten Wertes durch die Bestimmungseinheit auf eine Abfrage hin erfolgen, ob die Drehzahl des Motors unterhalb einer bestimmten Drehzahlschwelle arbeitet.

**[0058]** Insbesondere kann die Überwachungseinheit dabei die Drehzahl des Motors überwachen und nur dann eine Testroutine einleiten, bei welcher mindestens eine Testeinspritzung vorgenommen wird, wenn die Drehzahl unter einer bestimmten Drehzahlschwelle liegt. Da die Drehzahl und die Zykluslänge umgekehrt proportional zueinander sind, hat die geringe Drehzahl den Vorteil, dass zwischen zwei Haupteinspritzungen des normalen Motorbetriebs eine entsprechend lange Zeitspanne verbleibt, in welcher die Testeinspritzung durchgeführt und eine entsprechende Druckmessung durchgeführt werden kann. Hierdurch kann der für die Genauigkeit der Messung wichtige Abstand zwischen Haupt- und Testeinspritzung eingehalten werden.

**[0059]** Besonders bevorzugt erfolgt die Bestimmung dabei im Leerlaufbetrieb des Verbrennungsmotors.

**[0060]** In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Bestimmung und Adaption für jeden Kraftstoffinjektor individuell. Hierdurch können Bauteile-Toleranzen sowie individuelle Drifts der Eigenschaften der Kraftstoffinjektoren berücksichtigt werden.

**[0061]** Die injektor-individuelle Adaption kann dabei durch eine Bestimmung bzw. Verwendung injektor-individueller Adaptionswerte erreicht werden. Dagegen kann für die Ansteuerung aller Injektoren auf das selbe Kennfeld zurückgegriffen werden. Ebenso können in diesem Fall für alle Injektoren die gleichen Soll-Adaptionswerte eingesetzt werden.

**[0062]** Vorteilhafterweise unterscheiden sich die zur Ansteuerung der mehreren Injektoren jeweils eingesetzten mathematischen Funktionen dabei nur im Hinblick auf die ggf. unterschiedlichen Adaptionswerte.

**[0063]** Insbesondere kann erfindungsgemäß das Kennfeld zur Implementierung der Kennfeldsteuerung nur einmal in der Motorsteuerung abgelegt sein. Ebenso können auch die Soll-Adaptionswerte nur einmal abgelegt sein.

**[0064]** Die Adaptionswerte, welche in die erste mathematische Funktion eingehen, werden dagegen vorteilhafterweise während des Motorbetriebs wiederholt und vorteilhafterweise laufend ermittelt und jeweils injektor-individuell aktualisiert.

**[0065]** Dagegen kann vorgesehen sein, dass das Kennfeld der Kennfeldsteuerung über den Betrieb des Motors zumindest nicht im Hinblick auf die Adaption an die sich verändernden Eigenschaften der Kraftstoffinjektoren angepasst wird.

**[0066]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Bestimmung und Adaption durch die Bestimmungseinheit für mehrere unterschiedliche Betriebspunkte des Einspritzsystems und/oder des Motors. Insbesondere kann dabei die Bestimmung für mehrere unterschiedliche Drücke in der gemeinsamen Druckleitung erfolgen. Alternativ kann die Bestimmung für nur einen Betriebspunkt des Einspritzsystems und/oder des Motors, insbesondere für nur einen Druck in der gemeinsamen Druckleitung durch Messungen erfolgen, während die Adaptionswerte für die übrigen Betriebspunkte durch eine Extrapolation ermittelt werden.

**[0067]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Bestimmung und Adaption durch die Bestimmungseinheit für mehrere unterschiedliche Einspritzwerte des Kraftstoffinjektors bei der Testeinspritzung.

**[0068]** Vorteilhafterweise umfasst die Bestimmungseinheit hierfür eine Testroutine, welche mehrere unterschiedliche Testeinspritzungen und/oder mehrere Testeinspritzungen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen der Druckleitung und/oder des Motors durchführt.

**[0069]** Die vorliegende Erfindung umfasst weiterhin ein Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren umfasst. Das erfindungsgemäße Common-Rail-Einspritzsystem weist dabei weiterhin eine Steuerung, wie sie oben näher beschrieben wurde, auf.

**[0070]** Vorteilhafterweise handelt es sich dabei um ein Common-Rail-Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren, eine gemeinsame Druckleitung für die Kraftstoffinjektoren, eine Hochdruckpumpe zum Versorgen der gemeinsamen Druckleitung mit Kraftstoff, und ein Drucksensor zum Bestimmen des Drucks in der gemeinsamen Druckleitung aufweist.

**[0071]** Weiterhin umfasst die vorliegende Erfindung einen Motor mit einem solchen erfindungsgemäßen Einspritzsystem. Insbesondere kann es sich dabei um einen Dieselmotor handeln.

**[0072]** Weiterhin umfasst die vorliegende Erfindung ein mobiles Arbeitsgerät mit einem erfindungsgemäßen Motor.

**[0073]** Auch unabhängig von der erfindungsgemäßen Steuerung umfasst die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Steuerung eines Einspritzsystems, wobei zu mindestens einer mit einem Kraftstoffinjektor vorgenommenen Einspritzung ein tatsächlicher Einspritzwert ermittelt wird und die Ergebnisse der Bestimmungseinheit verwendet werden, um die Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren anzupassen. Weiterhin ist vorgesehen, dass aus dem mindestens einem tatsächlichen Einspritzwert mindestens ein Adaptionswert für die Injektoransteuerung bestimmt wird, wobei im Motorbetrieb aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Steuerwert zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors erzeugt wird, und wobei im Motorbetrieb die durch das Kennfeld erzeugten Steuerwerte angepasst werden, indem auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion angewendet wird, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht.

**[0074]** Vorteilhafterweise werden die Ansteuerwerte, welche erfindungsgemäß durch die Adaptionseinheit angepasst werden, aus dem für den normalen Motorbetrieb angeforderten Einspritzwert, insbesondere der Einspritzmenge, durch die Kennfeldsteuerung erzeugt. Der angeforderte Einspritzwert wird dabei bevorzugt auf Grundlage von Motorbetriebsbedingungen und/oder vom Fahrer erzeugten Steuersignalen ermittelt, insbesondere aus der gewünschten Drehzahl und/oder dem gewünschten Drehmoment des Motors.

**[0075]** Bevorzugt erfolgt das erfindungsgemäße Verfahren dabei so, wie dies oben im Hinblick auf die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Steuerung näher beschrieben wurde. Insbesondere erfolgt das erfindungsgemäße Verfahren dabei unter Verwendung einer Steuerung, wie sie oben näher beschrieben wurde.

**[0076]** Vorteilhafterweise ist die erfindungsgemäße Steuerung für das Einspritzsystem so ausgeführt, dass die Steuerung sämtliche Tätigkeiten und Schritte automatisiert durchführt. Insbesondere kann hierfür ein entsprechendes Computerprogramm vorgesehen sein, welches in einem Speicher der Steuerung abgelegt ist und Befehle zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. zur Implementierung der erfindungsgemäßen Steuerung umfasst.

**[0077]** Die vorliegende Erfindung betrifft dabei ebenfalls ein solches Computerprogramm, durch welches ein erfin-

dungsgemäßes Verfahren bzw. eine erfindungsgemäße Steuerung implementiert wird.

**[0078]** Die vorliegende Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels sowie von Zeichnungen näher dargestellt. Dabei zeigen:

- 5     Figur 1:     ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Einspritzsystems mit einem Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Steuerung,
- Figur 2:     Diagramme einer injektor-individuellen Ist-Kennlinie (links) und einer transponierten Darstellung mit linearer Approximation der Ist-Kennlinie (rechts),
- 10     Figur 3:     Diagramme der Ist-Kennlinie von 7 fabrikneuen Injektoren (links) und entsprechend korrigierter Kennlinien (rechts),
- Figur 4:     ein Ausführungsbeispiel einer Adaptionseinheit gemäß der vorliegenden Erfindung.

15     **[0079]** Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Motors mit einem erfindungsgemäßen Einspritzsystem mit einer erfindungsgemäßen Steuerung.

**[0080]** Der Motor 1 weist ein Einspritzsystem mit einer Mehrzahl von Injektoren I1, I2 bis Ii auf. Weiterhin ist ein Sensor 3 vorgesehen, welcher einen Messwert  $x(t)$  zur Verfügung stellt.

20     **[0081]** Bei dem Einspritzsystem kann es sich um ein Common-Rail-Einspritzsystem handeln, bei welchem die Injektoren I1, I2 bis Ii von einer gemeinsamen Kraftstoffzuleitung mit unter Druck stehendem Kraftstoff versorgt. Dabei kann eine Hochdruckpumpe vorgesehen sein, welche die gemeinsame Kraftstoffzuleitung mit Hochdruck versorgt. Weiterhin kann es sich bei dem Sensor 3 um einen Drucksensor zur Messung des Drucks in der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung handeln.

25     **[0082]** Figur 1 zeigt weiterhin ein Blockdiagramm eines erfindungsgemäßen Motorsteuergerätes 4. Dieses enthält zunächst eine konventionelle Kennfeldsteuerung 5, welche aus der für den Motorbetrieb angeforderten Einspritzwert  $Q_{soll}$  anhand eines Kennfeldes ein Ansteuerwert TOC für den jeweiligen Injektor ermittelt wird. Der als Input für den Steuerblock 5 dienende angeforderte Einspritzwert wird dabei bspw. auf Grundlage von Motorbetriebsbedingungen und/oder vom Fahrer erzeugten Steuersignalen ermittelt, insbesondere aus der gewünschten Drehzahl und/oder dem gewünschten Drehmoment des Motors. Der Steuerblock 5 kann dabei entweder ein gemeinsames Kennfeld für sämtliche Injektoren, oder jeweils injektorindividuelle Kennfelder umfassen.

30     **[0083]** Das Motorsteuergerät 4 umfasst weiterhin eine Bestimmungseinheit 6, welche aus einem durch den mindestens einen Sensor 3 ermittelten Messwert den tatsächlichen Einspritzwert  $y$  bei einer Einspritzung, insbesondere einer Teinspritzung, bestimmt. Weiterhin ist eine Adaptionseinheit 7 vorgesehen, welche den tatsächlichen Einspritzwert  $y$  als Input erhält.

35     **[0084]** Die Adaptionseinheit bestimmt nun aus dem mindestens einem tatsächlichen Einspritzwert mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung, und verwendet diesen Adaptionswert zur Anpassung der von der Kennfeldsteuerung 5 ausgegebenen Ansteuerwerte an den Drift des jeweiligen Injektors.

40     **[0085]** Die Adaptionseinheit 7 erhält im normalen Motorbetrieb die durch die Kennfeldsteuerung 5 erzeugten Steuerwerte als Input und erzeugt aus diesen angepasste Ansteuerwerte als Output, indem sie auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion anwendet, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht. Der korrigierte Ansteuerwert wird dann der Injektor-Endstufe 8 zugeführt, welche die unmittelbaren elektrischen Ansteuererzeugt, welche über eine Steuerleitung an diese übermittelt werden.

45     **[0086]** Das in Fig. 1 gezeigte Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Steuerung soll nun im Folgenden näher beschrieben werden:

**[0087]** Die präzise Dosierung der eingespritzten Kraftstoffmenge spielt eine wesentliche Rolle im Hinblick auf die darauf folgende Verbrennung und die daraus entstehenden Abgase. Aufgrund von fertigungsbedingten Bauteilstreuungen der Kraftstoffinjektoren und Alterungserscheinungen während des Motorbetriebs müssen diese während des Motorlaufs kalibriert werden.

50     **[0088]** Denn Kraftstoffinjektoren unterliegen fertigungsbedingten Bauteilstreuungen, welche die Dosiergenauigkeit beeinträchtigen. Die Beanspruchung des Kraftstoffsystems mit immer höheren Systemdrücken führt zu zusätzlichen Bauteildriften, die negative Auswirkungen auf das Abgasverhalten und die Effizienz des Motors nach sich ziehen. Um diesen Abweichungen entgegen zu wirken ist eine Korrektur der Injektoransteuerung notwendig, um einen stabilen Motorlauf zu gewährleisten.

55     **[0089]** Dies bedeutet, dass Abweichungen beziehungsweise Driften in der tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge erkannt, quantifiziert und durch eine entsprechende Anpassung der Injektoransteuerung ausgeglichen werden müssen.

**[0090]** Durch die erfindungsgemäße Steuerung können Abweichungen bzw. Ungenauigkeiten in der eingespritzten

Kraftstoffmenge kompensiert werden, die sich aus folgenden Gründen ergeben:

- Ungenauigkeiten aufgrund von Fertigungstoleranzen
- Alterungserscheinungen bzw. Verschleiß
- Düsenverkokung

**[0091]** Grundlage zur Korrektur der Injektoransteuerung bildet erfindungsgemäß ein Messsignal  $x(t)$ , aus dem sich das Ist-Verhalten des betrachteten Injektors ableiten lässt. Verschiedene Motorsensoren können dafür verwendet werden, z. B. der Rail-Drucksensor, Klopfensoren, die Motordrehzahl oder auch die Injektorspannung. Wie aus einem solchen Sensorsignal das Ist-Verhalten des Injektors ermittelt wird ist dabei für die Umsetzung der vorliegenden Erfindung nicht entscheidend. Es wird daher im Folgenden vorausgesetzt, dass eine Messgröße  $y$ , wie die Ist-Einspritzmenge  $Q_{Ist}$ , die Ist-Einspritzdauer  $TOI_{Ist}$  oder der Ist-Einspritzbeginn  $SOI_{Ist}$  der Injektoransteuerung vorliegt.

**[0092]** Im Ausführungsbeispiel wird erfindungsgemäß eine Kennfeldsteuerung eingesetzt, welche auf Grundlage der gewünschten Einspritzmenge  $Q_{Soll}$  die hierfür notwendige Ansteuerdauer  $TOC_{Soll}$  ausgibt. Die vorliegende Erfindung adaptiert nun diese Ansteuerdauer  $TOC_{Soll}$  durch eine injektorindividuelle Anpassung.

**[0093]** Eine solche injektorindividuelle Anpassung der Injektorsteuerung wäre zwar auch dann vollständig erfüllt, wenn dem Steuergerät die jeweilige Ist-Injektorkennlinie  $(TOC_{Ist}, Q_{Ist})$  für einen gegebenen Rail-Druck  $P_{Rail}$  zur Verfügung stehen würde, wie dies auf der linken Seite von Figur 2 als Kennlinie 10 dargestellt ist. Eine solche ständige Anpassung der in der Kernfeldsteuerung abgelegten Kennfelder ist jedoch nicht praktikabel, da hierfür alle Ansteuerpunkte  $(TOC_{Ist}, Q_{Ist}, P_{Rail})$  des Kennfeldes zur Injektorkalibrierung angefahren werden müssten. Erfindungsgemäß wird daher eine Methode eingesetzt, die Soll-Ist-Abweichung zu schätzen, ohne hierfür die ganze Kennlinie  $(TOC_{Ist}, Q_{Ist})$  direkt ermitteln zu müssen.

**[0094]** Hierfür wird folgender Ansatz verfolgt: die transponierte Darstellung 11 der Kennlinie 10, wie sie in Figur 2 rechts zu sehen ist, wird durch eine lineare Approximation 12 angenähert:

$$TOC = [\hat{Q}_{Ist} \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} + e \quad (1)$$

**[0095]** Dabei stellt  $Q_{Ist}$  die Schätzung der Ist-Einspritzmenge dar,  $e$  den Schätzfehler und  $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \quad \alpha_0]^T$  die Parametrisierung der linearen Approximation, welche sich mittels Least-Squares-Schätzung aus  $M$  unabhängigen Messungen ermitteln lässt:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} TOC_1 \\ \vdots \\ TOC_M \end{bmatrix}}_{\underline{y}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \hat{Q}_{Ist,1} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \hat{Q}_{Ist,M} & 1 \end{bmatrix}}_{\underline{\Psi}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix}}_{\underline{\alpha}} + \underline{e} \quad (2)$$

$$\underline{\hat{\alpha}} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha}_1 \\ \hat{\alpha}_0 \end{bmatrix} = (\underline{\Psi}^T \cdot \underline{\Psi})^{-1} \cdot \underline{\Psi}^T \cdot \underline{y} \quad (3)$$

5  
10 **[0096]** Dabei stellt diese lineare Näherung zwar eine relativ schlechte Approximation der Kennlinie dar. Da jedoch bei der erfindungsgemäßen Steuerstrategie nicht die Kennlinie selbst, sondern lediglich ihr Drift quantifiziert werden soll, reicht diese relativ schlechte Approximation dennoch aus.

**[0097]** Die Korrektur des Drifts erfolgt dann anhand eines Vergleichs der linearen Näherung der Kennlinie mit einer linearen Näherung der durch die Kennfeldsteuerung repräsentierten Kennlinie, d. h. einer Soll-Kennlinie. Die Soll-Kennlinie wird dabei durch den Vektor  $\underline{\alpha}_{\text{Soll}} = [\alpha_{\text{Soll}1} \ \alpha_{\text{Soll}}]^T$  repräsentiert. Dieser Soll-Adaptionswert  $\underline{\alpha}_{\text{Soll}}$ , nähert eingesetzt in Gleichung 1 die in der Kennfeldsteuerung abgespeicherte Kennlinie an.

**[0098]** Somit ergibt sich die korrigierte Ansteuerdauer aus

$$20 \quad \text{TOC}^* = \frac{\alpha_{1,\text{soll}}}{\hat{\alpha}_1} \cdot \text{TOC} + \left( \alpha_{0,\text{soll}} - \frac{\alpha_{1,\text{soll}}}{\hat{\alpha}_1} \cdot \hat{\alpha}_0 \right) \quad (4)$$

25 **[0099]** Die aus den beiden Vektoren  $\underline{\alpha}$  und  $\underline{\alpha}_{\text{Soll}}$  ermittelten Koeffizienten in Gleichung (4) drücken damit den Offset sowie die lineare Verzerrung der jeweils angenäherten Kennlinie aus.

**[0100]** Für eine Umsetzung auf einem Steuergerät bietet sich eine rekursive Least-Squares-Schätzung an, welche aus einer Schätzung  $\underline{\alpha}_{N-1}$  zum Zeitpunkt N-1 anhand der neuen Messgröße  $x(N)$  eine Schätzung  $\underline{\alpha}(N)$  erzeugt.

30 **[0101]** Eine solche rekursive LS-Schätzung kann bspw. wie folgt implementiert werden: Einem allgemeinen LS-Schätzer liegt, wie bereits oben dargestellt, die Gl. (2) zugrunde:

$$35 \quad \begin{bmatrix} \text{TOC}_1 \\ \vdots \\ \text{TOC}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Q}_{1,\text{ist}} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \hat{Q}_{M,\text{ist}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} + \underline{\varepsilon}$$

40 **[0102]** Diese Gleichung kann nach  $m$  Messungen, d.h. nach dem  $m$ -ten Schritt, durch den Messvektor  $\underline{y}(m)$ , die Regressionsvektoren  $\underline{\phi}(1) \dots \underline{\phi}(m)$  bzw. die Regressionsmatrix  $\underline{\Psi}(m)$  dargestellt werden:

$$45 \quad \underline{y}(m) = \begin{bmatrix} \underline{\phi}(m) \\ \vdots \\ \underline{\phi}(1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} + \underline{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \underline{\phi}(m) \\ \underline{\Psi}(m-1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} + \underline{\varepsilon}$$

50 Das bedeutet, dass die Bestimmungsgleichung mit jeder neuen Messung wie folgt geschrieben werden kann, wenn die  $m$ -te Messung  $\underline{y}(m)$  und der Regressionsvektor  $\underline{\phi}(m)$  zum Messvektor  $\underline{y}(m-1) = [y(m-1) \dots y(1)]^T$  und der Regressionsmatrix  $\underline{\Psi}(m-1)$  hinzukommen

$$55 \quad \begin{bmatrix} \underline{y}(m) \\ \underline{y}(m-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\phi}(m) \\ \underline{\Psi}(m-1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} + \underline{\varepsilon}$$

Dies bildet nun den Ansatz zum rekursiven LS-Schätzer. Der RLS-Schätzer besteht aus einem Gewichtsvektor

$$\underline{k}(m) = \underline{P}(m-1) \cdot \underline{\phi}(m) \left[ 1 + \underline{\phi}(m)^T \cdot \underline{P}(m-1) \cdot \underline{\phi}(m) \right]^{-1}$$

5 und der Schätzfehlerkovarianz

$$\underline{P}(m) = \underline{P}(m-1) - \underline{k}(m) \cdot \underline{\phi}(m)^T \cdot \underline{P}(m-1)$$

10 Auf Basis dieser Hilfsvariablen, welche für jede neue Messung rekursiv bestimmt werden, erfolgt die Schätzung für  $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_0]^T$

$$\underline{\hat{\alpha}}(m) = \underline{\hat{\alpha}}(m-1) + \underline{k}(m) \cdot \left[ y(m) - \underline{\phi}(m)^T \cdot \underline{\hat{\alpha}}(m-1) \right]$$

Auf diese Weise wird rekursiv eine neue Schätzung (Schritt m) auf Basis der vorangegangenen Schätzung (Schritt m-1), des Gewichtsvektors und der Schätzfehlerkovarianz ermittelt. Der Startwert für die Schätzfehlerkovarianz wird erfahrungsgemäß auf  $10^3 \dots 10^5$  gesetzt. Zudem gibt es die Möglichkeit einen Vergessensfaktor einzubauen, der die Schätzungen weit vorangehender Schritte schwächer bewertet.

20 **[0103]** Ein Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Adaptionseinheit ist in Figur 3 gezeigt. Die Adaptionseinheit 7 erhält dabei den von der Kennfeldsteuerung 5 erzeugten Ansteuerwert TOC als Input, und erzeugt aus diesem anhand von Gleichung 4 den korrigierten Ansteuerwert TOC\*. Die Adaptionswerte  $\underline{\alpha}$  werden dabei über den rekursiven Schätzer LS ermittelt, welcher anhand der zuverigen Schätzung und einem neuen Messwert x(N) diejenigen Adaptionswerte  $\underline{\alpha}$  schätzt, welche eine optimale Annäherung der Funktion 1 an die Messwerte erlaubt. Konkret wird dies dadurch realisiert, dass der Schätzfehler e in Gleichung 2 über die M Messwerte minimiert wird.

25 **[0104]** Die Adaptionseinheit 7 lädt dabei aus dem Speicher S die Soll-Adaptionswerte  $\underline{\alpha}_{\text{Soll}}$ . Diese können dabei bereits im Rahmen der Produktion der erfindungsgemäßen Steuerung in dem Speicher S abgelegt werden und bleiben unverändert. Weiterhin werden die jeweils aktuellen Werte für  $\underline{\alpha}$  in dem Speicher S abgelegt und für die nächste Schätzung ausgelesen.

30 **[0105]** Die Initialisierung des Speichers S für den Parametervektor der Adaptionswerte  $\underline{\alpha}$  kann ebenfalls durch die Endkontrolle nach der Injektorproduktion erfolgen, sodass Fertigungstoleranzen bereits werkseitig durch  $\underline{\alpha}$  berücksichtigt werden können. Drifts, welche während des laufenden Motorbetriebs auftreten, werden dann durch eine entsprechende Aktualisierung von  $\underline{\alpha}$  ausgeglichen.

35 **[0106]** Erfindungsgemäß kann damit für alle Injektoren das gleiche Kennfeld in der Kennfeldsteuerung eingesetzt werden, während sowohl Fertigungstoleranzen als auch über die Betriebslaufzeit auftretende Drifts allein durch die Adaptionseinheit ausgeglichen werden. Dementsprechend würde dann für sämtliche Injektoren auch der gleiche Wert für  $\underline{\alpha}_{\text{Soll}}$  eingesetzt.

40 **[0107]** Die erfindungsgemäße Adaptionseinheit erlaubt dabei trotz des äußerst einfachen Aufbaus und der unkomplizierten Umsetzung eine erstaunlich genaue Ansteuerung der Einspritzmenge, wie sich aus den in Figur 4 dargestellten Diagrammen ergibt.

45 **[0108]** Die linke Abbildung in Figur 4 zeigt dabei die einzelnen Ist-Kennlinien von sieben fabrikneuen Injektoren. Diese unterscheiden sich vor allem in einem Offset- und in einem linearen Fehler in TOC, welcher sich durch die erfindungsgemäße Ansteuerung ausgleichen lässt. Rechts sind dabei korrigierte Kennlinien dargestellt, welche sich durch die Überlagerung der links dargestellten Kennlinien mit der erfindungsgemäßen Korrekturfunktion aus Gleichung 4 ergeben.

**[0109]** Die vorliegende Erfindung erlaubt damit eine erstaunlich genaue Korrektur der Einspritzung, ohne dass hierfür die Kennfelder selbst geändert werden müssten.

50 **[0110]** Im Ausführungsbeispiel wurde dabei die Ansteuerdauer TOC als Ansteuerwert für die Injektoren gewählt, ohne dass die vorliegende Erfindung auf diesen konkreten Ansteuerwert beschränkt ist. Vielmehr könnte exakt die gleiche Ansteuerung auch auf Grundlage des Beginns der Injektorbestromung SOC (start of current) als Ansteuerwert implementiert werden. Die zugrundeliegende Messgröße y wäre in diesem Fall der Einspritzbeginn SOI (start of injection).

**[0111]** Einige wichtige Aspekte der erfindungsgemäßen Steuerung zum Ausgleich von Abweichungen und Drifts bei der Ansteuerung eines Einspritzsystems sollen im Folgenden noch einmal unabhängig von dem oben dargestellten Ausführungsbeispiel dargestellt werden:

**[0112]** Die erfindungsgemäße Adaptionseinrichtung sieht dabei vor, dass

i) der fertigungsbedingte oder sich während der Injektorlebensdauer ergebende Drift in einem Einspritzwert wie

beispielsweise der Einspritzmenge, dem Einspritzbeginn oder dem Einspritzende, durch einen Parametervektor  $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_0]^T$  quantifiziert wird, der aus einem Offset- und einem linearen Driftanteil besteht,

5 ii) der Driftausgleich durch Anpassung eines von der Kernfeldsteuerung erhaltenen Ansteuerwertes wie beispielsweise der Ansteuerdauer TOC oder des Beginns der Injektorbestromung SOC erfolgt. Dabei ist der angepasste Ansteuerwert wie beispielsweise die angepasste Ansteuerdauer TOC\* eine Funktion des durch die Kernfeldsteuerung angeforderten Ansteuerwertes wie beispielsweise der Ansteuerdauer TOC und dem ermittelten Parametervektor  $\underline{\alpha} = [\alpha_1 \ \alpha_0]^T$ ,

10 iii) wobei der Parametervektor beispielsweise rekursiv aus einer Messung eines tatsächlichen Einspritzwertes wie beispielsweise der tatsächlichen Einspritzmenge, des tatsächlichen Einspritzbeginns und/oder des tatsächlichen Einspritzendes ermittelt, wobei dies beispielsweise anhand eines Motorsensorsignals sowie einem Drehzahlsignal, einem Klopfensorsignal oder einem Drucksensorsignal erfolgen kann.

15 **[0113]** Die vorliegende Erfindung erlaubt damit trotz des einfachen Aufbaus eine erstaunlich gute Anpassung des Einspritzverhaltens an den injektorindividuellen Drift.

### Patentansprüche

- 20
1. Steuerung für ein Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren (I1,I2, ..Ii) aufweist, mit einer Kennfeldsteuerung (5), welche aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Steuerwert zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors erzeugt, mit einer Bestimmungseinheit (6), welche zu mindestens einer mit dem Kraftstoffinjektor vorgenommenen Einspritzung den tatsächlichen Einspritzwert ermittelt,
 

25 und mit einer Adaptionseinheit (7), welche die Ergebnisse der Bestimmungseinheit verwendet, um die Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren anzupassen, **dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Adaptionseinheit aus dem mindestens einem tatsächlichen Einspritzwert mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung bestimmt,
 

30 wobei die Adaptionseinheit (7) im Motorbetrieb die durch die Kennfeldsteuerung (5) erzeugten Steuerwerte als Input erhält und aus diesen angepasste Ansteuerwerte als Output erzeugt, indem sie auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion anwendet, wobei der mindestens eine Adaptionswert als Parameter in die erste mathematische Funktion eingeht.
  - 35 2. Steuerung nach Anspruch 1, wobei die Adaptionseinheit (7) den mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung bestimmt, indem sie den Zusammenhang zwischen dem mindestens einen tatsächlichen Einspritzwert und dem entsprechenden Ansteuerwert durch eine zweite mathematische Funktion, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht, annähert.
  - 40 3. Steuerung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Adaptionseinheit (7) den mindestens einen Adaptionswert für die Injektoransteuerung auf Grundlage einer Mehrzahl von tatsächlichen Einspritzwerten bestimmt, welche unterschiedlichen gewünschten Einspritzwerten entsprechen, wobei die Adaptionseinheit vorteilhafterweise den Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten durch eine zweite mathematische Funktion, in welche der mindestens eine Adaptionswert als Parameter eingeht, annähert.
 

45
  4. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die erste mathematische Funktion zusätzlich von mindestens einen Soll-Adaptionswert abhängt, wobei vorteilhafterweise der durch das Kennfeld der Kennfeldsteuerung ausgedrückte Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten durch eine dritte mathematische Funktion angenähert wird, in welche der mindestens eine Soll-Adaptionswert als Parameter eingeht und/oder wobei der mindestens eine Soll-Adaptionswert herstellerseitig in der Adaptionseinheit abgespeichert ist.
 

50
  - 55 5. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die von der Steuereinheit verwendete erste mathematische Funktion die Abweichung einer zweiten mathematischen Funktion, welche den Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten näherungsweise beschreibt, von einer dritten mathematischen Funktion darstellt, welche den durch die Kennfeldsteuerung ausgedrückten Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten näherungsweise beschreibt.

- 5 6. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei es sich bei der ersten, der zweiten und/oder der dritten mathematischen Funktion um eine lineare Funktion handelt, welche von zwei Parametern abhängt, wobei die erste mathematische Funktion vorteilhafterweise einen Offset und einen linearen Drift des Zusammenhangs zwischen den tatsächlichen Einspritzwerten und den entsprechenden Ansteuerwerten im Vergleich zu dem durch die Kennfeldsteuerung ausgedrückten Zusammenhang zwischen Einspritzwerten und den entsprechenden Steuerwerten beschreibt.
- 10 7. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der mindestens eine Adaptionwert rekursiv bestimmt wird.
- 15 8. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei es sich bei dem Einspritzwert um die Einspritzmenge und/oder den Einspritzbeginn und/oder das Einspritzende handelt und/oder wobei es sich bei dem Ansteuerwert um die Ansteuerdauer und/oder den Ansteuerbeginn und/oder das Ansteuerende des Kraftstoffinjektors handelt.
- 20 9. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der mindestens eine Adaptionwert anhand mindestens einer Testeinspritzung ermittelt wird, wobei vorteilhafterweise mehrere Testeinspritzungen mit unterschiedlichen gewünschten Einspritzwerten durchgeführt werden und in die Bestimmung des Adaptionwertes eingehen.
- 25 10. Steuerung nach Anspruch 9, wobei die Bestimmungseinheit (6) die mindestens eine Testeinspritzung (10) mit vorgegebenen Ansteuerwerten vornimmt, wobei die vorgegebenen Ansteuerwerte vorteilhafterweise unabhängig von den für den normalen Motorbetrieb gewünschten Ansteuerwerten sind und/oder wobei es sich bei der Testeinspritzung (10) um eine vor bzw. nach der Haupteinspritzung (20) erfolgende Vor-Einspritzung bzw. Nach-Einspritzung handelt.
- 30 11. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, mit einer Überwachungseinheit zur Überwachung des Motorbetriebs, welche so mit der Bestimmungseinheit (6) in Verbindung steht, dass die Bestimmung des mindestens einen tatsächlichen Einspritzwertes durch die Bestimmungseinheit in für die Bestimmung geeigneten Betriebszuständen des Motors durchgeführt wird, insbesondere bei gleichbleibendem Druck in der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung, gleichbleibender Drehzahl und/oder gleichbleibenden Einspritzwerten für den normalen Motorbetrieb, wobei die Bestimmung insbesondere über mehrere Motorzyklen erfolgt.
- 35 12. Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Bestimmung und Adaption für jeden Kraftstoffinjektor (I1, I2, ..li) individuell erfolgt.
- 40 13. Einspritzsystem, welches mehrere Kraftstoffinjektoren (I1, I2, ..li) aufweist, mit einer Steuerung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei es sich bei dem Einspritzsystem vorteilhafterweise um ein ein Common-Rail-Einspritzsystem mit einer gemeinsame Kraftstoffzuleitung für die Kraftstoffinjektoren, und einer Hochdruckpumpe zum Versorgen der gemeinsamen Kraftstoffzuleitung mit Kraftstoff handelt.
- 45 14. Motor (1) mit einem Common-Rail-Einspritzsystem nach Anspruch 13.
- 50 15. Verfahren zur Ansteuerung eines Einspritzsystems, welches mehrere Kraftstoffinjektoren (I1, I2, ..li) umfasst, insbesondere unter Verwendung einer Steuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei zu mindestens einer mit einem Kraftstoffinjektor vorgenommenen Einspritzung ein tatsächlicher Einspritzwert ermittelt wird, wobei die Ergebnisse der Bestimmungseinheit verwendet werden, um die Ansteuerung der Kraftstoffinjektoren anzupassen, **dadurch gekennzeichnet**, aus dem mindestens einem tatsächlichen Einspritzwert mindestens ein Adaptionwert für die Injektoransteuerung bestimmt wird, wobei im Motorbetrieb aus einem gewünschten Einspritzwert anhand eines vorgegebenen Kennfeldes einen Steuerwert zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors erzeugt wird, und wobei im Motorbetrieb die durch das Kennfeld erzeugten Steuerwerte angepasst werden, indem auf die von der Kennfeldsteuerung erzeugten Steuerwerte eine erste mathematische Funktion angewendet wird, in welche der mindestens eine Adaptionwert als Parameter eingeht.
- 55

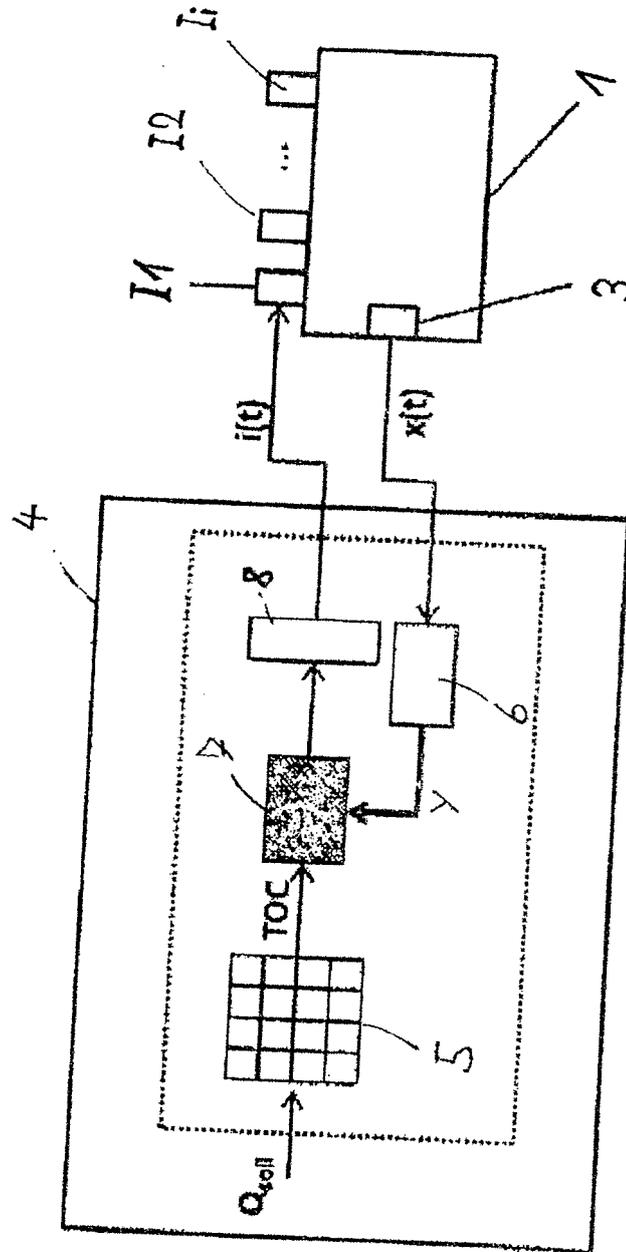


Fig. 1

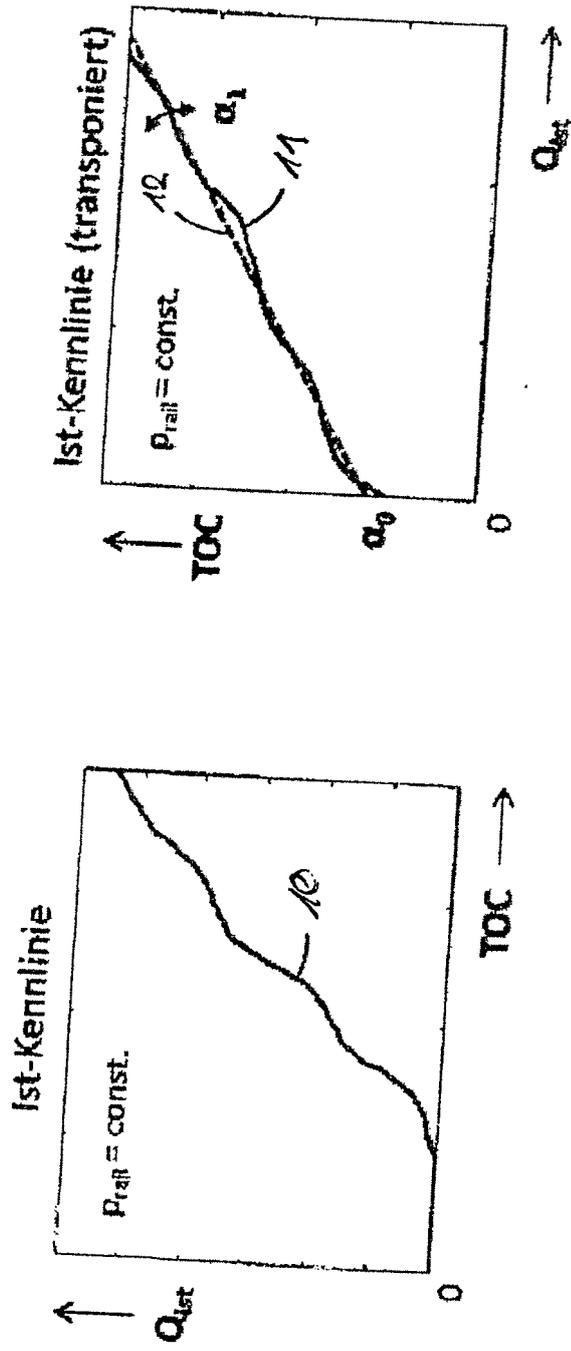


Fig. 2

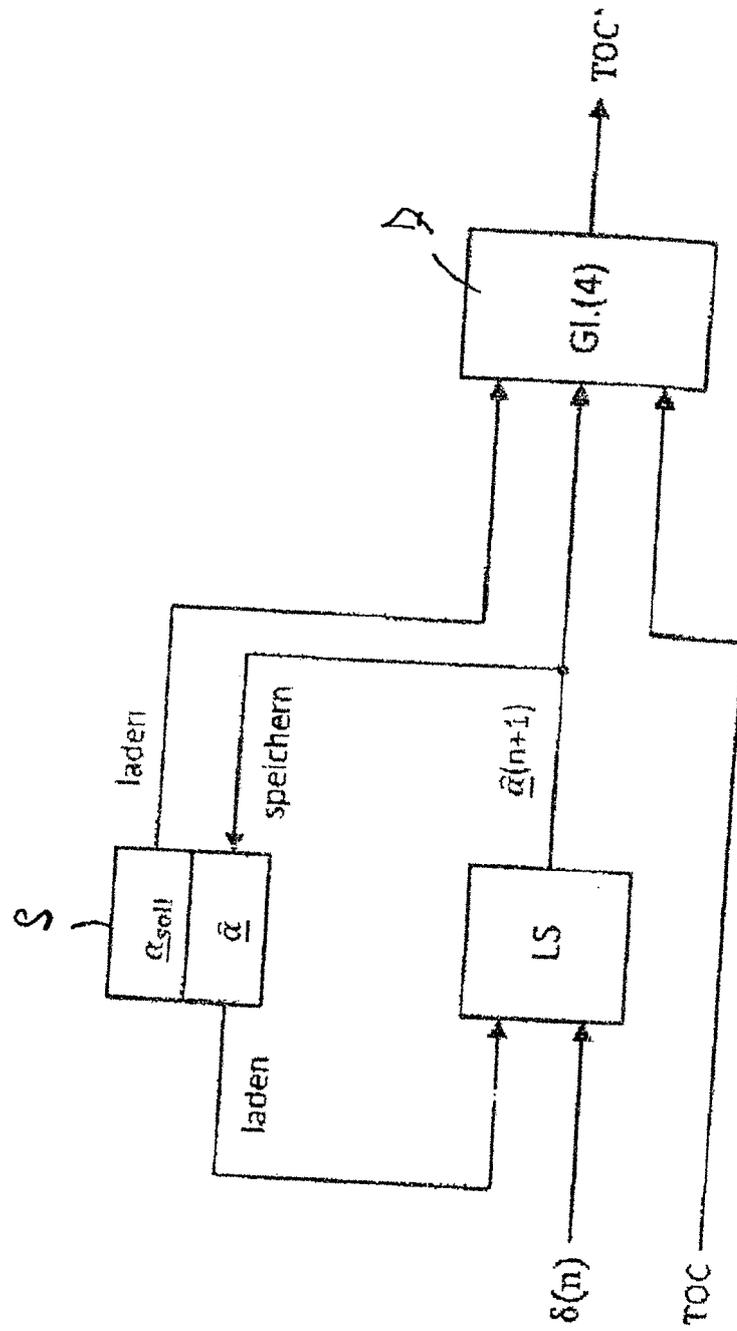


Fig. 3

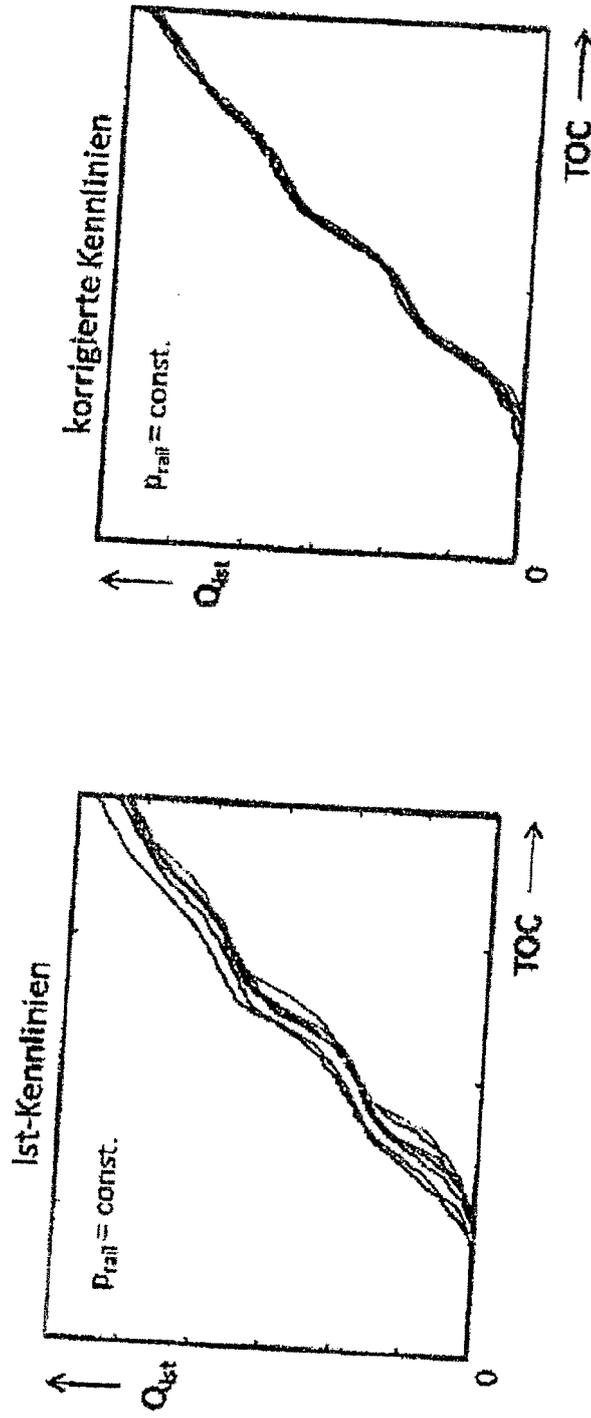


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 13 00 5489

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 2 148 070 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27. Januar 2010 (2010-01-27) * Absätze [0003] - [0019] * * Absätze [0023] - [0032] * * Abbildung 1 * * Absätze [0040] - [0042] * -----	1-15	INV. F02D41/14 F02D41/24
X	DE 10 2008 051820 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 22. April 2010 (2010-04-22) * das ganze Dokument *	1-15	
X	DE 10 2007 018627 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS VDO AUTOMOTIVE [FR] CONTINENTAL AUTOMOTIVE FR) 23. Oktober 2008 (2008-10-23) * das ganze Dokument *	1-15	
A	DE 197 26 100 A1 (NIPPON SOKEN [JP]) 8. Januar 1998 (1998-01-08) * das ganze Dokument *	1-15	
A	DE 10 2004 050761 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20. April 2006 (2006-04-20) * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. September 2014	Prüfer Calabrese, Nunziante
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503\_03.82 (P/M/C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 00 5489

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-09-2014

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2148070 A2	27-01-2010	DE 102008040626 A1	11-03-2010
		EP 2148070 A2	27-01-2010
		US 2010030454 A1	04-02-2010
-----			
DE 102008051820 A1	22-04-2010	CN 102187075 A	14-09-2011
		DE 102008051820 A1	22-04-2010
		US 2011202255 A1	18-08-2011
		WO 2010043479 A1	22-04-2010
-----			
DE 102007018627 A1	23-10-2008	DE 102007018627 A1	23-10-2008
		WO 2008128980 A1	30-10-2008
-----			
DE 19726100 A1	08-01-1998	DE 19726100 A1	08-01-1998
		JP H109033 A	13-01-1998
		JP 3871375 B2	24-01-2007
-----			
DE 102004050761 A1	20-04-2006	DE 102004050761 A1	20-04-2006
		FR 2876743 A1	21-04-2006
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 19726100 B4 [0005]
- DE 102008051820 A1 [0006]
- DE 102008051820 [0006]