



(10) **DE 10 2012 201 601 A1** 2013.08.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 201 601.5**

(22) Anmeldetag: **03.02.2012**

(43) Offenlegungstag: **08.08.2013**

(51) Int Cl.: **F02D 41/20 (2012.01)**

F02D 41/00 (2012.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE

Brahim, 70499, Stuttgart, DE; Hernier, Markus, 70839, Gerlingen, DE; Beyrath, Thiebaut, 70180, Stuttgart, DE; Bollinger, Stefan, 71672, Marbach, DE

(72) Erfinder:

Walter, Michael, 70806, Kornwestheim, DE; Bischoff, Bjoern, 70825, Korntal-Münchingen, DE; Schulz, Udo, 71665, Vaihingen, DE; Baqasse,

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

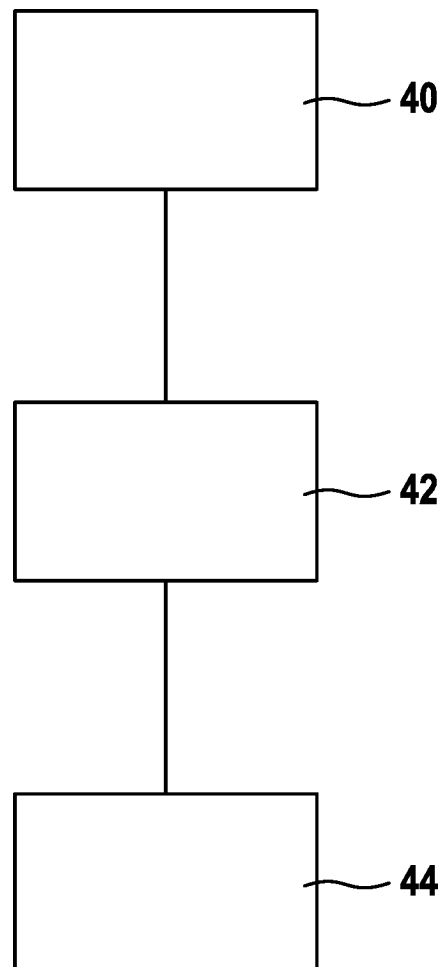
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine (10) umfassend folgende Schritte:

– mittels des Drucksensorverfahrens wird in einem ersten Schritt (40) für einen ersten Injektor (20d) eine erste Ansteuerdauer (t_{vorL}) ermittelt, bei der eine gewünschte Kraftstoffmenge in einen ersten Zylinder (12d) eingespritzt wird. Die erste Ansteuerdauer (t_{vorL}) wird in einem Steuer- und/oder Regelgerät (38) nichtflüchtig gespeichert;

– in einem zweiten Schritt (42) wird der erste Injektor (20d) mit der ersten Ansteuerdauer (t_{vorL}) angesteuert und ein daraus resultierendes Mengenersatzsignal wird in Abhängigkeit der Triebstrangparameter in einem Lernkennfeld abgelegt und nichtflüchtig im Steuer- und/oder Regelgerät (38) gespeichert;

– in einem dritten Schritt (44) wird mittels der Nullmengenkalibrierung für alle weiteren Zylinder (20) eine Ansteuerdauer der den Zylindern (20) zugeordneten Injektoren (12) variiert, bis das im zweiten Schritt (42) ermittelte Mengenersatzsignal als Sollwert erreicht ist wobei die so ermittelte Ansteuerdauer nichtflüchtig im Steuer- und/oder Regelgerät (38) gespeichert wird.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine. In modernen Kraftstoffeinspritzsystemen der hier betroffenen Art, beispielsweise in Common-Rail-Dieseleinspritzsystemen, werden zur Verbesserung der Gemischaufbereitung zeitlich vor oder nach den eigentlichen Haupteinspritzungen liegende Teileinspritzungen mit relativ kleinen Kraftstoffmengen realisiert. Die gesamte Einspritzmenge, berechnet gewöhnlich auf der Basis einer Momentenanforderung des Fahrers, wird dabei beispielsweise auf zwei Voreinspritzungen und eine Haupteinspritzung aufgeteilt. Die Einspritzmengen der Voreinspritzungen sollen dabei möglichst klein sein, um Emissionsnachteile zu vermeiden. Andererseits müssen die Voreinspritzmengen groß genug sein, damit auch unter Berücksichtigung aller Toleranzquellen stets die für den Verbrennungsprozess notwendige Mindestmenge an Kraftstoff eingespritzt wird. Wesentliche Toleranzquelle ist dabei eine alterungsbedingte Drift der Injektoren.

[0002] Aus der DE 199 45 618 A1 ist ein Verfahren bekannt, mit dem die Drift eines Injektors über eine sogenannte Nullmengenkalibrierung adaptiert und kompensiert wird. Dabei wird in einem Schubbetrieb der Brennkraftmaschine eine Ansteuerdauer und damit die eingespritzte Kraftstoffmenge jedes einzelnen Injektors solange variiert, bis eine Änderung eines sogenannten Mengenersatzsignals eintritt. Da die eingespritzte Kraftstoffmenge nicht direkt gemessen werden kann, behilft man sich mit einem Mengenersatzsignal, das mit der eingespritzten Kraftstoffmenge korreliert.

[0003] Das Mengenersatzsignal ist beispielsweise eine Drehzahländerung der Kurbelwelle, ein Ausgangssignal einer Lambdasonde oder ein Ausgangssignal einer Ionenstromsonde. Die Ansteuerdauer des Injektors bei der eine Änderung des Mengenersatzsignals eintritt wird als Mindestansteuerdauer gespeichert und zur Kompensation der Drift des Injektors verwendet.

[0004] Die DE 10 2008 002 482 A1 beschreibt ein Verfahren, das einen Zusammenhang zwischen den bei der zuvor erläuterten Nullmengenkalibrierung sich ergebenden Werten der Mindestansteuerdauer und der jeweiligen Einspritzmenge mittels Regressionsberechnung auswertet, um damit das Lernen eines Nullmengenkalibrierwertes zu verbessern.

[0005] Ein Verfahren zur Regelung und Adaption von Voreinspritzmengen ist aus der DE 10 2004 001 119 A1 bekannt (Drucksensorverfahren). Dabei werden mithilfe eines Drucksensors, der an einem Zylinder angeordnet ist, aus dem Druck-

verlauf während der Verbrennung, dem sogenannten Heizverlauf, die Teilmengen der Einspritzung bestimmt und auf Sollwerte geregelt.

[0006] Aus der DE 10 2006 026 640 A1 ist ferner ein Verfahren bekannt mit dem bei Betriebszuständen einer Brennkraftmaschine in denen Unterschiede und/oder Schwankungen der Drehzahl im Wesentlichen von einer Verbrennungslage abhängen, der Zeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung für die Reduzierung der Unterschiede und/oder Schwankungen adaptiert wird.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Das der Erfindung zugrunde liegende Problem wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in Unteransprüchen angegeben. Für die Erfindung wichtige Merkmale finden sich ferner in der nachfolgenden Beschreibung und in den Zeichnungen, wobei die Merkmale sowohl in Alleinstellung als auch in unterschiedlichen Kombinationen für die Erfindung wichtig sein können, ohne dass hierauf nochmals explizit hingewiesen wird.

[0008] Ein Grundgedanke der Erfindung ist es, ein erstes bekanntes „Drucksensorverfahren“ derart mit einem zweiten bekannten Verfahren, der sogenannten „Nullmengenkalibrierung“, zu kombinieren, dass die wesentlichen Nachteile beider Verfahren, nämlich die hohen Kosten durch zusätzliche Drucksensorik mit Auswerteschaltung und Software beim Drucksensorverfahren, sowie ein hoher Applikationsaufwand bei der Nullmengenkalibrierung, weitestgehend vermieden werden.

[0009] Dabei wird erfindungsgemäß ein Zylinder der Brennkraftmaschine mit einem Drucksensor versehen. Für diesen „Leitzylinder“ beziehungsweise einem dem Leitzylinder zugeordneten Injektor wird zunächst, in einem ersten Schritt, mittels des Drucksensorverfahrens eine Voreinspritzung von Kraftstoff geregelt und adaptiert. Damit ist für den dem Leitzylinder zugeordneten Injektor eine Ansteuerdauer bekannt, bei welcher der Injektor eine gewünschte Kraftstoffmenge in den Leitzylinder einspritzt.

[0010] Weil die eingespritzte Kraftstoffmenge unter anderem auch von einem Raildruck abhängig ist, wird der erste Schritt für verschiedene diskrete Raildrücke durchgeführt. Die so ermittelten Ansteuerdauern werden in einem Datenspeicher eines Steuer- und/oder Regelgerätes der Brennkraftmaschine nichtflüchtig abgespeichert.

[0011] In einem zweiten Schritt wird der Injektor des Leitzylinders konstant mit derjenigen Ansteuerdauer angesteuert, die im ersten Schritt ermittelt und adaptiert wurde. Dabei werden entsprechend dem

zweiten Verfahren der Nullmengenkalibrierung Mengenersatzsignale, wie beispielsweise eine Drehzahl-schwankung der Kurbelwelle, gemessen und abhängig von den Triebstrangparametern, umfassend eine Drehzahl der Brennkraftmaschine und ein Übersetzungsverhältnis eines Getriebes, in einem Lernkennfeld abgelegt und nichtflüchtig in einem Datenspeicher des Steuer- und/oder Regelgerätes abgespeichert.

[0012] In einem dritten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden alle weiteren Zylinder bzw. die den Zylindern zugeordneten Injektoren, entsprechend der Nullmengenkalibrierung angesteuert und ein daraus resultierendes Mengenersatzsignal ermittelt. Dabei wird das im zweiten Schritt ermittelte Mengenersatzsignal des Leitzylinders bzw. des Leitinjektors als Sollwert eingesetzt. Erreicht das Mengenersatzsignal des zu kalibrierenden Zylinders den Sollwert, wird die dazugehörige Ansteuerdauer oder die Differenz zu einem Nominalwert nichtflüchtig gespeichert und analog zum Stand der Technik im befeuerten Betrieb der Brennkraftmaschine zur Driftkompensation verwendet.

[0013] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass der erste Schritt und der zweite Schritt simultan erfolgen. Die Regelung und/oder Adaption der Ansteuerdauer nach dem Drucksensorverfahren im befeuerten Betrieb der Brennkraftmaschine setzt voraus, dass die Abstände zwischen den Teileinspritzungen groß gewählt werden müssen, um eine eindeutige Zuordnung des Druckverlaufs bzw. des Heizverlaufs zu der jeweiligen Einspritzung zu erzielen. Daher weichen die Abstände zwischen den Teileinspritzungen in der Regel von einem Optimum der Brennkraftmaschine bezüglich Emissionsverhalten, spezifischen Kraftstoffverbrauch und/oder Laufruhe ab.

[0014] Die Regelung und/oder Adaption der Ansteuerdauer für den Leitzylinder erfolgt demgegenüber, aufgrund der optimalen Bedingungen, sehr schnell, so dass die wesentlich langsamere Adaption der Triebstrangparameter simultan erfolgen kann. Dadurch wird eine Dauer des erfindungsgemäßen Verfahrens vorteilhaft reduziert.

[0015] Eine weitere Ausgestaltung besteht darin, dass im ersten Schritt die Ansteuerdauer aus einer Kennlinie als Funktion des Raildrucks entnommen wird. Damit verschiedene Raildrücke adaptiert werden können, ist es notwendig, zumindest kurzzeitig, den Raildruck für die Dauer des ersten Schritts konstant zu halten. Alternativ kann eine Regelung bzw. Adaption der Ansteuerdauer im ersten Schritt auch bei variablem Raildruck erfolgen. Dabei wird die Ansteuerdauer in einer adaptiven Kennlinie als Funktion des Raildrucks ermittelt und adaptiert. Damit werden in vorteilhafter Weise die Betriebsbedingungen für das Drucksensorverfahren vereinfacht.

[0016] Eine weitere Ausgestaltung besteht darin, dass im zweiten Schritt ein Verhältnis des Sollwert – Mengenersatzsignals zu einem ermittelten Istwert des Mengenersatzsignals in Abhängigkeit der Triebstrangparameter adaptiert wird. Dieses Verhältnis entspricht der Triebstrangverstärkung, die gemäß dem Stand der Technik bei der Nullmengenkalibrierung appliziert werden müsste. Auf diese Weise reduziert das erfindungsgemäße Verfahren den Applikationsaufwand.

[0017] Ergänzend wird vorgeschlagen, dass im zweiten Schritt zeitgleich zu einer ersten Testeinspritzung eines ersten Injektors mit einer ersten Ansteuerdauer in den ersten Zylinder eine zweite Testeinspritzung eines zweiten Injektors mit einer zweiten Ansteuerdauer in einen zweiten Zylinder erfolgt, dass ein resultierendes Mengenersatzsignal als Überlagerung einer ersten Anregung durch den ersten Zylinder und einer zweiten Anregung durch zweiten Zylinder erfasst wird aus der die erste Anregung und die zweite Anregung rekonstruiert und der jeweiligen Ansteuerdauer des jeweiligen Injektors zugeordnet wird, dass für den ersten Zylinder mittels Drucksensorverfahren im ersten Schritt eine erste eingespritzte Kraftstoffmenge ermittelt wird, dass diese erste eingespritzte Kraftstoffmenge als Referenz dient, und dass aus der zweiten Anregung mithilfe der Referenz eine zweite Kraftstoffmenge, die während der zweiten Ansteuerdauer des zweiten Injektors in den zweiten Zylinder eingespritzt wurde, berechnet wird.

[0018] Die erfindungsgemäße Ermittlung von Lernwerten kann wie bei der Nullmengenkalibrierung nach dem Stand der Technik im Schubbetrieb erfolgen. Allerdings wird das vorgeschlagene Verfahren hinsichtlich des Lernvorgangs jeweils autark auf zwei Injektoren parallel durchgeführt. Aus jeder Testeinspritzung der beiden Injektoren ergibt sich eine Anregung des Triebstrangs. Diese Anregungen, da parallel oder mindesten in etwa zeitgleich, werden auf dem Triebstrang überlagert. Eine entsprechende Drehzahlsignalauswertung ermittelt daraus eine Gesamtanregung mit Betrag und Phase. Daraus lässt sich nach dem Prinzip der Vektoraddition die Anregung der einzelnen Injektoren rekonstruieren. Auf Basis des für den jeweiligen Injektor rekonstruierten Mengenersatzsignals erfolgt sodann eine Kalibrierung für jeden Injektor autark, wie bei einer Nullmengenkalibrierung gemäß dem Stand der Technik. Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dabei die Möglichkeit, die Kalibrierungsgeschwindigkeit zu verdoppeln, ohne eine Verschlechterung im Signal-/Rauschabstand in Kauf nehmen zu müssen.

[0019] Erfolgt eine der Einspritzungen auf dem Leitzylinder, wird für diesen mittels des Drucksensorverfahrens eine eingespritzte Kraftstoffmenge berechnet. Mit dieser Kraftstoffmenge als Referenzwert kann dann aus dem rekonstruierten Mengen-

ersatzsignal der zweiten Einspritzung die dabei eingespritzte Kraftstoffmenge ermittelt werden. Damit stellt das erfindungsgemäße Verfahren eine Möglichkeit bereit, absolute eingespritzte Kraftstoffmengen zu ermitteln, ohne eine aufwendige Triebstrangadaptation entsprechend dem voranstehend beschriebenen zweiten Schritt durchzuführen.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet noch besser, wenn die Nullmengenkalibrierung im Schubbetrieb oder während eines Anlaufs und/oder Auslaufs der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.

[0021] Erfindungsgemäß wird die Nullmengenkalibrierung vorzugsweise im Auslauf der Brennkraftmaschine durchgeführt. Um die Bedingungen für den zu kalibrierenden Injektor zu erreichen, bevor ein Stillstand der Brennkraftmaschine eintritt, erfolgt die reguläre Abschaltung der Einspritzung erst mit dem Injektor, der in der Einspritzreihenfolge vor dem zu kalibrierenden Injektor liegt, und nicht zwangsläufig mit dem auf das Abschalten der Zündung oder der Einspritzung direkt folgenden Injektor. Sofern nach Abschalten der Zündung oder der Einspritzung die Brennkraftmaschine mehr als den Arbeitsbereich eines Zylinders weiterdreht, kann auch für mehr als einen Zylinder bzw. die zugeordneten Injektoren die Nullmengenkalibrierung durchgeführt werden

[0022] Prinzipiell lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch während einer Startphase oder Anlaufphase der Brennkraftmaschine durchführen. Hierbei wird ausgehend von einer Positionserkennung der stehenden Brennkraftmaschine, beispielsweise aus der vorausgegangenen Auslaufphase, der nächste mögliche Zylinder auf dem eingespritzt und gezündet werden kann bestimmt und für diesen Zylinder bzw. den zugeordneten Injektor die Nullmengenkalibrierung angewandt.

[0023] Anschließend wird die normale, aus dem Stand der Technik bekannte, Startfunktion für den entsprechend der Einspritzreihenfolge nächsten Zylinder durchgeführt. Für konventionelle Antriebskonzepte mit Brennkraftmaschinen liegt der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Verkürzung der Kalibrierdauer während der Schubphase. Für alternative Antriebskonzepte, die eine Abschaltung der Brennkraftmaschine zulassen, wie beispielsweise das rein elektrische Fahren beim Parallelhybridantrieb oder ein sogenanntes „Segeln“ bei abgeschalteter Brennkraftmaschine, stehen keine Schubphasen für eine Nullmengenkalibrierung nach dem Stand der Technik zur Verfügung. Die Erfindung bietet daher eine Möglichkeit, eine Nullmengenkalibrierung ohne Schubphase durchzuführen.

[0024] Ergänzend wird vorgeschlagen, dass im ersten Schritt für den ersten Zylinder die erste Ansteuerdauer des ersten Injektors mittels Nullmengenkali-

brierung ermittelt wird. Dabei wird in der Anlaufphase und/oder Auslaufphase der Brennkraftmaschine eine erste Ansteuerdauer eines ersten Injektors ermittelt. Mit der so ermittelten ersten Ansteuerdauer werden dann erfindungsgemäß im zweiten Schritt die Triebstrangparameter adaptiert, so dass die im zweiten Schritt ermittelten Mengenersatzsignale als Referenzwerte für die Kalibrierung der weiteren Zylinder bzw. der dazugehörigen Injektoren dienen. Dadurch kann auf die kostenintensive Ausstattung des Leitzylinders mit Drucksensoren verzichtet werden.

[0025] Es versteht sich von selbst, dass der Referenzwert des ersten Zylinders auch bei der voranstehend erläuterten parallelen oder annähernd gleichzeitigen Einspritzung in zwei Zylinder verwendet werden kann. Wobei der Referenzwert nicht mittels dem Drucksensorverfahren ermittelt wird, sondern mittels der Nullmengenkalibrierung in der Anlaufphase und/oder Auslaufphase der Brennkraftmaschine.

[0026] Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung.

[0027] Es zeigen:

[0028] [Fig. 1](#) Das Umfeld der Erfindung

[0029] [Fig. 2](#) ein Ablaufschema des erfindungsgemäßen Verfahrens

[0030] [Fig. 3](#) eine grafische Darstellung einer Überlagerung zweier Amplitudensignale

[0031] [Fig. 4](#) ein Ansteuerdauerkennfeld eines zweiten Injektors der erfindungsgemäß zusammen mit einem ersten Injektor kalibriert wurde

[0032] [Fig. 5](#) ein Ansteuerdauerkennfeld eines ersten Injektors, der erfindungsgemäß zusammen mit einem zweiten Injektor kalibriert wurde

[0033] [Fig. 6](#) eine grafische Darstellung einer Überlagerung zweier Amplitudensignale die so zueinander liegen, dass sie einen Winkel τ einschließen, welcher ungleich einem Vielfachen von 90° ist

[0034] [Fig. 7](#) eine graphische Darstellung einer Auslaufphase einer Brennkraftmaschine

[0035] **Fig. 8** eine graphische Darstellung unterschiedlicher Stoppositionen in Abhängigkeit einer Stellung einer Drosselklappe

[0036] **Fig. 9** eine graphische Darstellung einer Startphase einer Brennkraftmaschine und

[0037] **Fig. 10** eine graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen einem Mengenersatzsignal und einem Drucksensorsignal.

[0038] Eine Brennkraftmaschine trägt in **Fig. 1** insgesamt das Bezugszeichen **10**. Sie dient zum Antrieb eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs und umfasst vier Zylinder **12a** bis **12d** mit vier Brennräumen **14a** bis **14d**. Jeder Brennraum **14a** bis **14d** verfügt über ein Einlassventil **16a** bis **16d**, die mit einem Ansaugrohr **18** verbunden sind. Über das Ansaugrohr **18** und die Einlassventile **16a** bis **16d** gelangt Verbrennungsluft in den jeweiligen Brennraum **14a** bis **14d**. Im Ansaugrohr **18** ist eine Drosselklappe (nicht dargestellt) angeordnet. Mittels der Drosselklappe wird die Menge an Verbrennungsluft, die in den jeweiligen Brennraum **14a** bis **14d** gelangt, abhängig von einem Betriebszustand der Brennkraftmaschine **10** eingestellt. Kraftstoff wird in die Brennräume **14a** bis **14d** über jeweils einen Injektor **20a** bis **20d** eingespritzt. Die Injektoren **20a** bis **20d** sind an einen Kraftstoffhochdruckspeicher **22**, der auch als „Rail“ bezeichnet wird, angeschlossen.

[0039] Das in den Brennräumen **14a** bis **14d** befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch wird nach dem Kompressionshub entzündet; entweder durch Fremdzündung oder Selbstzündung. Die heißen Verbrennungsgase werden aus den Brennräumen **14a** bis **14d** über Auslassventile **24a** bis **24d** in ein Abgasrohr **26** abgeleitet. Dieses führt zu einer Abgasanlage **28**, welche das Abgas durch chemische Umwandlung der darin enthaltenen Schadstoffe reinigt. Alternativ oder parallel zur Drosselklappe im Ansaugrohr **18**, kann auch eine Abgasstauklappe im Abgasrohr **26** angeordnet sein mit der die Verbrennungsluftmenge in den Brennräumen **14a** bis **14d** eingestellt wird.

[0040] Im Betrieb der Brennkraftmaschine **10** wird eine Kurbelwelle **30** in Drehung versetzt, deren Drehzahl beziehungsweise Drehgeschwindigkeit und Drehbeschleunigung von einem hochauflösenden Kurbelwellensensor **32** erfasst wird.

[0041] Eine über das Ansaugrohr **18** zu den Brennräumen **14a** bis **14d** strömende Frischluftmasse wird von einem Luftmassensensor **34** erfasst. Ferner ist an der Brennkraftmaschine **10** ein Brennraumdrucksensor **36** angeordnet, der den Druck im Brennraum **14d** erfasst. Dieser Zylinder **12d** wird als „Leitzylinder“ bezeichnet.

[0042] Der Betrieb der Brennkraftmaschine **10** wird von einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung **38** gesteuert und/oder geregelt. Diese erhält Signale unter anderem vom Kurbelwellensensor **32**, dem Luftmassensensor **34** und dem Brennraumdrucksensor **36**. Angesteuert werden von der Steuer- und/oder Regeleinrichtung **38** unter anderem die Injektoren **20**. Dabei sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass immer, wenn bei einer Komponente der Index a bis d nicht explizit erwähnt ist, die entsprechenden Ausführungen für alle Komponenten a bis d gelten.

[0043] Eine Kraftstoffmenge Q , die von den Injektoren **20** in die Brennräume **14** eingespritzt wird, ist bei konstantem Druck proportional zu einer Ansteuerdauer T der Injektoren. Die Kraftstoffmenge Q beeinflusst des Weiteren ein zylinderindividuelles Drehmoment M , welches auf die Kurbelwelle **30** wirkt.

[0044] **Fig. 2** zeigt ein Ablaufschema eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens. Zunächst wird in einem Schritt **40** nach der zum Beispiel aus der DE 10 2004 001 119 A1 bekannten Drucksensormethode für den Leitzylinder **12d** eine Voreinspritzung geregelt und adaptiert. Damit ist für den Leitzylinder **12d** eine Ansteuerdauer t_{vorL} bekannt, die so bemessen ist, dass über den driftbehafteten Injektor **20d** des Leitzylinders **12d** eine gewünschte Kraftstoffmenge in den Leitzylinder **12d** eingespritzt wird. Diese Ansteuerdauer t_{vorL} wird getrennt für verschiedene Raildrücke ermittelt und die dabei ermittelten Ergebnisse nichtflüchtig in einem Datenspeicher des Steuer- und/oder Regelgerätes **38** abgelegt.

[0045] Erfindungsgemäß kann der erste Schritt **40** sowohl während einem „befeueren“ Betrieb, also mit Einspritzung von Kraftstoff, als auch während einer Schubphase erfolgen. Voraussetzung für die Durchführung des ersten Schrittes **40** im befeuerten Betrieb, ist dass die Abstände zwischen den Teileinspritzungen so groß gewählt werden, dass die einzelnen Teileinspritzungen einem ermittelten Heizverlauf im Zylinder **12** eindeutig zugeordnet werden können.

[0046] Für die Regelung der ersten Ansteuerdauer t_{vorL} nach dem Drucksensorverfahren ist es nach dem Stand der Technik erforderlich, den Druck im Kraftstoffhochdruckspeicher **22** für die Dauer des Verfahrens konstant zu halten. Erfindungsgemäß kann die Regelung auch bei variablem Raildruck erfolgen. Dazu wird die erste Ansteuerdauer t_{vorL} nicht bei verschiedenen diskreten Raildrücken ermittelt, sondern aus einer adaptiven Kennlinie als Funktion des Raildrucks ermittelt und adaptiert. Dabei kann zur Ermittlung der Kennlinie eine Regressionsanalyse vorgenommen werden.

[0047] In einem zweiten Schritt **42** wird der Injektor **20d** des Leitzylinders **12d** konstant mit der zu-

vor im ersten Schritt **40** ermittelten Ansteuerdauer t_{vorL} angesteuert. Dabei werden nach dem z. B. aus der DE 10 2008 002 482 A1 bekannten Verfahren der „Nullmengenkalibrierung“, abhängig von den sogenannten Triebstrangparametern, insbesondere der Kurbelwellendrehzahl und des Übersetzungsverhältnisses, sogenannte Mengenersatzsignale S ermittelt und in einem Kennfeld abgelegt.

[0048] Die Mengenersatzsignale S können eine die Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle charakterisierende Größe, ein Ausgangssignal einer Lambda-sonde oder ein Ausgangssignal einer Ionenstromsonde sein. Anstelle des Mengenersatzsignals S kann auch ein Verhältnis zwischen einem festen Sollwert und einem gemessenen Istwert des Mengenersatzsignals S abhängig von den Triebparametern adaptiert werden. Dieses Verhältnis entspricht einer Triebstrangverstärkung, die nach dem Stand der Technik appliziert werden müsste. Durch die Erfindung entfällt die Applikation der Triebstrangverstärkung.

[0049] Weil der erste Schritt **40**, die Regelung der ersten Ansteuerdauer t_{vorL} mittels Drucksensorverfahren, aufgrund der optimalen Voraussetzungen sehr schnell ist, kann der zweite Schritt **42**, die vergleichsweise langsamere Adaption der Triebstrangparameter, simultan erfolgen.

[0050] In einem dritten Schritt **44** werden alle Zylinder **12a** bis **c**, außer dem Leitzylinder **12d**, nach dem bekannten Verfahren der „Nullmengenkalibrierung“ angesteuert und das Mengenersatzsignal S ermittelt. Die Vorgehensweise ist dabei, dass das zuvor im zweiten Schritt **42** ermittelte Mengenersatzsignal S als Sollwert verwendet wird. Die Ansteuerdauer t_{vorZ} der Zylinder **12** wird dabei solange variiert, bis das gemessene Mengenersatzsignal S den Sollwert erreicht. Die dazugehörige Ansteuerdauer T oder eine Differenz zu einem Nominalwert der Ansteuerdauer T wird nichtflüchtig in einem Datenspeicher des Steuer- und/oder Regelgerätes **38** gespeichert.

[0051] Der zweite Schritt **42**, die Adaption der Triebstrangparameter, kann erfindungsgemäß umgangen werden, indem zeitgleich mit einer Testeinspritzung auf den Leitzylinder **12d** eine zweite Testeinspritzung in einen weiteren Zylinder **12** erfolgt. Dabei wird ein Mengenersatzsignal S ermittelt, das sich aus der Überlagerung eines ersten Mengenersatzsignals S , ausgelöst durch die Testeinspritzung in den Leitzylinder **12d**, und eines zweiten Mengenersatzsignals S , ausgelöst durch die zweite Testeinspritzung in einen weiteren Zylinder **12**, ergibt.

[0052] In [Fig. 3](#) ist als Teil einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Rekonstruktion von Mengenersatzsignalen S zweier zeitgleich mit jeweiligen Testeinspritzungen be-

aufschlagten Injektoren **20** aus einem gemessenen Mengenersatzsignal S , beispielsweise einer Anregung von schwingungsfähigen Bauteilen des Triebstrangs innerhalb einer Brennkraftmaschine **10**, gezeigt.

[0053] Im vorliegenden Fall wird nunmehr am Beispiel einer Brennkraftmaschine mit vier Zylindern angenommen, dass die zwei mit Testeinspritzungen beaufschlagten Injektoren **20** bzw. die entsprechend zugeordneten Zylinder **12** orthogonal zueinander liegen. Demnach ist der erste Injektor **20d** bzw. der zugehörige Leitzylinder **12d** durch die Ordinatenachse gekennzeichnet, während der zweite Injektor **20** bzw. Zylinder **12** durch die Abszissenachse dargestellt ist. Die nunmehr gemessene Schwingung wird zunächst durch eine Amplitude A_{12} und eine entsprechende Phasenlage α dargestellt. Dies kann beispielsweise als Fouriertransformation eines entsprechenden Drehzahlsignals vorgenommen werden.

[0054] Die jeweiligen Phasen einer reinen Anregung bzw. Schwingung auf dem Leitzylinder **12d** oder dem zweiten Zylinder **12** sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden in dem hier dargestellten Koordinatensystem als Achsen verwendet. Das gemessene Signal mit der Amplitude A_{12} und Phase α wird sodann mit Hilfe der trigonometrischen Funktionen auf die beiden Achsen 1 und 2 projiziert:

$$A_1 = A_{12} \cdot \sin(\alpha)$$

$$A_2 = A_{12} \cdot \cos(\alpha)$$

[0055] Mit:

- A₁₂: Amplitude der Gesamtschwingung das heißt, der Überlagerung der beiden, durch die jeweiligen Injektoren verursachte Schwingungen
- A₁: die rekonstruierte Amplitude von Leitzylinder **12d**
- A₂: die rekonstruierte Amplitude von Zylinder **12**
- α : Phase(nlage) bzw. Phasenverschiebung der gemessenen Anregung A_{12} gegenüber der Phase von Zylinder **12** bzw. Leitzylinder **12d**.

[0056] Dadurch lassen sich in einfacher Weise die beiden die Gesamtanregung verursachenden Einzelanregungen der Injektoren **20d** und **20** separieren.

[0057] Sodann wird für jeden der beiden Injektoren **20**, den ersten Injektor **20d** und den zweiten Injektor **20**, ein Algorithmus gemäß dem Stand der Technik durchgeführt, wobei eine Ansteuerdauer eines jeweiligen Injektors **20** so lange nachgeführt wird, bis eine vorgegebene Zielmenge erreicht ist und anschlie-

ßend wird daraus ein zuvor erwähnter Lernwert gemäß dem Stand der Technik bestimmt.

[0058] **Fig. 4** gibt ein Testergebnis wieder, welches an einem Kraftfahrzeug mit einer Vierzylinder-Brennkraftmaschine nach Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erhalten wurde. Dabei wurde ein erhaltenes Ansteuerdauerkennefeld **45** eines zweiten Injektors **20** dreimal ermittelt. Die jeweilige Ansteuerdauer eines ersten Injektors **20d** wurde dabei als Parameter eingesetzt und nahm die Ansteuerdauer 140 µs, 180 µs und 220 µs an.

[0059] Die drei ermittelten Ansteuerdauerkennefeldlinien **45a**, **45b** und **45c** sind hierbei in ein Schaubild eingetragen, welches ein bestimmtes Mengenersatzsignal S2 des zweiten Injektors **20** über die Ansteuerdauer T, gemessen in µs, aufzeigt. Dabei stellt das Ansteuerdauerkennefeld **45a** das Ansteuerdauerkennefeld des zweiten Injektors **20** dar bei einer Ansteuerdauer des ersten Injektors **20d** von 140 µs. Das Ansteuerdauerkennefeld **45b** wurde bei einer Ansteuerdauer des ersten Injektors **20d** von 180 µs aufgenommen und das Ansteuerdauerkennefeld **45c** wurde für eine Ansteuerdauer des ersten Injektors **20d** von 220 µs aufgenommen. Die drei ermittelten Ansteuerdauerkennefelder **45a**, **45b** und **45c** des zweiten Injektors **20** liegen dabei im Rahmen der Messgenauigkeit des eingesetzten Drehzahlauswertverfahrens exakt aufeinander.

[0060] In **Fig. 5** ist ein Schaubild für entsprechende Ansteuerdauerkennefelder des ersten Injektors **20d** aufgezeigt, wobei hier quasi gegenüber **Fig. 34** Injektor **20d** und Injektor **20** ihre Rollen „getauscht“ haben. In dem hier dargestellten Schaubild wurde ein jeweiliges bestimmtes Mengenersatzsignal S1 des ersten Injektors **20d** über die Ansteuerdauer T, gemessen in µs, aufgetragen. Die Ansteuerdauer des zweiten Injektors **20** wurde dabei als Parameter verwendet und betrug für Ansteuerdauerkennefeld **45a'** 140 µs, für Ansteuerdauerkennefeld **45b'** 180 µs und für Ansteuerdauerkennefeld **45c'** 220 µs.

[0061] Auch hier liegen die drei für Injektor **20d** ermittelten Ansteuerdauerkennefelder **45'** im Rahmen der Messgenauigkeit des Drehzahlauswertverfahrens exakt aufeinander und belegen damit die Genauigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0062] Alternativ zum genannten Szenario, in welchem zwei orthogonale Injektoren **20d** und **20** bzw. entsprechende Leitzylinder **12d** und Zylinder **12** mit jeweiligen Testeinspritzungen beaufschlagt werden, können auch zwei gegenphasig liegende Injektoren **20** bzw. Zylinder **12** angeregt werden. Die beiden Schwingungen löschen sich dann aus, wenn die Einspritzmengen für die jeweiligen Injektoren **20** gleich groß sind. Dies kann beispielsweise dazu verwendet werden, zwei Injektoren **20** exakt aufeinander abzu-

gleichen, wenn ein Absolutbetrag der jeweiligen Einspritzung für die der Abgleich erfolgt nicht relevant ist.

[0063] **Fig. 6** zeigt nunmehr eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgenommene Rekonstruktion von durch einen ersten Injektor **20d** und einen zweiten Injektor **20** jeweils angeregten Schwingungen aus einer durch die beiden Schwingungen sich ergebenden gemessenen Gesamtschwingung. Dabei schließen die Injektoren **20d** und **20** einen Winkel τ ein, der nicht gleich einem ganzzahligen Vielfachen von 90° ist.

[0064] Ähnlich wie in **Fig. 3** ist diese Konstellation ebenfalls in einem Koordinatensystem dargestellt, wobei der zweite Zylinder **12** bzw. Injektor **20** auf einer horizontalen Achse und der Leitzylinder **12d** bzw. der erste Injektor **20d** auf einer gegenüber der horizontalen Achse um den Winkel τ gedrehten Achse gezeichnet ist. Die Achsen dieses Koordinatensystems schließen demnach einen Winkel τ ein. Das gemessene Signal wird wiederum in eine Darstellung mit Amplitude und Phase umgewandelt und in diesem Koordinatensystem entsprechend eingezeichnet. Dabei ist die Amplitude A12 mit einem Winkel α zum Injektor **20** eingetragen. Eine Rekonstruktion der Einzelamplituden A1 und A2 ergibt sich hier durch Anwendung des Sinussatzes analog zu der Rekonstruktion in **Fig. 3**. Dadurch ergibt sich eine verallgemeinerte Auswertebeziehung wie folgt:

$$A1 = A12 \cdot \sin(\alpha) / \sin(180^\circ - \tau)$$

$$A2 = A12 \cdot \sin(\tau - \alpha) / \sin(180^\circ - \tau)$$

[0065] Weil für den Leitzylinder **12d** nach dem Drucksensorverfahren die während der Testeinspritzung eingespritzte Kraftstoffmenge berechnet wird, kann mit dieser Kraftstoffmenge als Referenzwert eine Kraftstoffmenge, die während der zweiten Testeinspritzung in den zweiten Zylinder **12** eingespritzt wurde, aus den ermittelten Mengenersatzsignalen S berechnet werden. Dadurch kann die Triebstrangapplikation entfallen.

[0066] Nach dem Stand der Technik ist es erforderlich, eine Nullmengenkalibrierung während einer Schubphase der Brennkraftmaschine **10** durchzuführen. Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht eine Verlagerung der Nullmengenkalibrierung in eine Auslaufphase, nach Abschalten der Zündung der Brennkraftmaschine **10**. Denkbar ist auch eine Durchführung der Nullmengenkalibrierung in einer Anlaufphase oder Startphase der Brennkraftmaschine **10**, wodurch die Anlaufphase um mindestens ein Zylindersegment verlängert wird.

[0067] **Fig. 7** zeigt in einem Diagramm einen Auslauf der Brennkraftmaschine **10** ohne Einspritzung

von Kraftstoff bei geöffneter und geschlossener Drosselklappe **19**. Auf der Abszissenachse ist der Kurbelwellenwinkel in °KW aufgetragen; die Ordinate bezeichnet die Drehzahl in Umdrehungen je Minute. Bei geöffneter Drosselklappe **19** (Kurve **46**) dominieren die Gaswechsellmomente der einzelnen Zylinder **12** gegenüber den Reibmomenten und Trägheitsmomenten. Durch die geöffnete Drosselklappe **19** strömt gegenüber einer geschlossenen Drosselklappe **19** mehr Luft in die Zylinder **12**, wodurch ein Maximaldruck im Zylinder ansteigt. Die höheren Maximaldrücke in den Zylindern **12** führen zu einer Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle, wobei das durch den letzten komprimierenden Zylinder **12** vor dem Nulldurchgang der Drehzahl aufgebaute Gasmoment so groß wird, dass es zu einer Drehrichtungsumkehr kommt und die Brennkraftmaschine **10** den zuvor verdichteten Zylinder **12** komprimiert, bis es erneut zur Drehrichtungsumkehr kommt und die Brennkraftmaschine **10** letztendlich steht.

[0068] Wird die Drosselklappe **19** geschlossen (Kurve **48**), strömt weniger Luft in die Zylinder **12** und infolgedessen reduzieren sich die Maximaldrücke in den Zylindern **12**. Der Drehzahlverlauf ist gleichmäßiger und es kommt nicht zu einer Drehrichtungsumkehr bevor die Brennkraftmaschine stoppt. Die Gaswechsellmomente sind klein gegenüber den Trägheitsmomenten und Reibmomenten.

[0069] **Fig. 8** zeigt in einem Diagramm einen Einfluss der Drosselklappenstellung auf eine Stoppposition der Brennkraftmaschine **10**. Auf die Abszisse sind die fortlaufenden Nummern der Versuche aufgetragen. Die Ordinate zeigt den Kurbelwinkel in °KW vor dem Zünd-OT.

[0070] Bei geschlossener Drosselklappe **19** (gestrichelte Verbindungslinie) streuen die Stopppositionen der Brennkraftmaschine **10** zwischen Unterem Totpunkt (180 °KW vor Zünd-OT) und Zünd-OT (0 °KW vor Zünd-OT). Folglich ist bei geschlossener Drosselklappe **19** keine Einstellung der Stoppposition möglich. Demgegenüber existiert bei geöffneter Drosselklappe durch die erhöhten Gaswechsellmomente und die zweifach Richtungsumkehr eine Art Ausgleichsposition bei ca. 90 °KW vor Zünd-OT in welcher sich alle Zylinder **12** auf gleichem Niveau befinden. Die Linie **50** zeigt, dass die Abweichung von der Ausgleichsposition bei allen Versuchen circa 10 °KW beträgt.

[0071] Die Nullmengenkalibrierung beginnt bei einer Ansteuerdauer, die sicher nicht zu einer Einspritzung von Kraftstoff führt. Bei jeder Auslaufphase wird die Ansteuerdauer inkrementell erhöht, bis es zu einer Einspritzung mit Verbrennung kommt. Eine Erkennung erfolgt durch den Vergleich des gemessenen Mengenersatzsignals S, in diesem Fall das Signal des Kurbelwellensensors **32**, mit einem Referenz-

drehzahlsignal (siehe **Fig. 7**), bei dem sicher keine Einspritzung und Verbrennung stattfindet. Dabei können differenzbildende Verfahren und/oder Auswertung der Drehzahlgradienten erfolgen und/oder Vergleiche von Drehzahlmustern zum Einsatz kommen.

[0072] Um die Bedingungen für eine Nullmengenkalibrierung für den jeweiligen Injektor **20** in der Auslaufphase zu erreichen, bevor die Brennkraftmaschine **10** zum Stillstand gekommen ist, ist es denkbar die regulären Einspritzungen nach Abschalten der Zündung nicht mit dem zuerst folgenden Zylinder **12** abzuschalten, sondern die Einspritzungen und damit die Verbrennung weiterzuführen und erst mit dem in der Einspritzreihenfolge vor dem zu kalibrierenden Injektor **20** beziehungsweise dem zugehörigen Zylinder **12** zu beenden.

[0073] Dreht die Brennkraftmaschine **10** nach dem Ausschalten der Zündung und Abschalten der Einspritzung um mehr als einen Zylinder **12** weiter, wird die Nullmengenkalibrierung für den nachfolgend Zylinder **12** beziehungsweise den zugehörigen Injektor **20** durchgeführt.

[0074] Es ist auch möglich, die Nullmengenkalibrierung in einer Startphase oder Anlaufphase der Brennkraftmaschine **10** durchzuführen. Hierbei wird ausgehend von einer Positionserkennung der stehenden Brennkraftmaschine **10**, beispielsweise aus der vorhergehenden Auslaufphase, der nächste mögliche Zylinder **12** in den eingespritzt und gezündet werden kann bestimmt. Auf diesen Zylinder **12** beziehungsweise auf den ihm zugeordneten Injektor **20** wird die Nullmengenkalibrierung angewandt. Anschließend wird die normale, aus dem Stand der Technik bekannte, Startfunktion auf den in der Zündreihenfolge nächsten Zylinder **12** angewandt.

[0075] Ein zur Startphase gehörendes Referenzdrehzahlsignal zeigt **Fig. 9**. Der dargestellte Drehzahlverlauf als Funktion des Kurbelwinkels ist in Abhängigkeit eines konstant anliegenden Startdrehmoments berechnet.

[0076] Bei einem Startdrehmoment von 45 Nm wird bei voller Ladung des ersten Zylinders **12** ein erster Oberer Totpunkt nicht erreicht. Die kinetische Energie der Brennkraftmaschine **10** reicht nicht aus, um im Bereich des hohen Gaswechsellmoments bei ca. 160 °KW den ersten verdichtenden Zylinder **12** durch seinen Oberen Totpunkt (180 °KW) zu drehen. Die Brennkraftmaschine bleibt stehen.

[0077] Das Referenzdrehzahlsignal wird durch Messung und Speicherung weiterer zugehöriger Daten, wie beispielsweise Reibung der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit der Temperatur, Ansteuerdauer der Injektoren, Starterdrehzahl (für die Nullmengenkalibrierung in der Startphase), Stellung der Drosselklap-

pe **19** und weiteres, verbessert. Je genauer das Referenzdrehzahlsignal, desto sicherer und besser wird die Nullmengenkalibrierung.

[0078] Es versteht sich von selbst, dass an Stelle des Drehzahlsignals eines Kurbelwellensensors **32** auch das Signal eines Brennraumdrucksensors **36** für eine Nullmengenkalibrierung im sogenannten Start- und/oder Stopp-Betrieb der Brennkraftmaschine **10** verwendet werden kann. [Fig. 10](#) stellt den gemessenen Zusammenhang zwischen dem Mengenersatzsignal S aus der Nullmengenkalibrierung, dargestellt auf der Ordinatenachse und dem Signal aus der Drucksensormethode dargestellt auf der Abszissenachse dar. Es besteht ein direkter/linearer Zusammenhang, so dass beide Signale als äquivalent betrachtet werden können.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19945618 A1 [[0002](#)]
- DE 102008002482 A1 [[0004](#), [0047](#)]
- DE 102004001119 A1 [[0005](#), [0044](#)]
- DE 102006026640 A1 [[0006](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer Brennkraftmaschine (10) umfassend folgende Schritte:

- In einem ersten Schritt (40) wird mittels des Drucksensorverfahrens für einen ersten Injektor (20d) eine erste Ansteuerdauer (t_{vorL}) ermittelt, bei der eine gewünschte Kraftstoffmenge in einen Leitzylinder (12d) eingespritzt wird, und gespeichert;
- in einem zweiten Schritt (42) wird der erste Injektor (20d) mit der ersten Ansteuerdauer (t_{vorL}) angesteuert und ein daraus resultierendes Mengenersatzsignal (S) wird in Abhängigkeit der Triebstrangparameter in einem Lernkennfeld abgelegt und gespeichert;
- in einem dritten Schritt (44) wird mittels einer Nullmengenkalibrierung für alle weiteren Zylinder (20) eine Ansteuerdauer (T) der den Zylindern (20) zugeordneten Injektoren (12) variiert, bis das im zweiten Schritt (42) ermittelte Mengenersatzsignal (S) als Sollwert erreicht ist, wobei die so ermittelten Ansteuerdauer (T) gespeichert wird.

2. Verfahren nach vorangehendem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Schritt (40) und der zweite Schritt (42) simultan erfolgen.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Schritt (40) die Ansteuerdauer aus einer Kennlinie als Funktion des Drucks in einem Kraftstoffhochdruckspeicher (22) entnommen wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Schritt (42) ein Verhältnis des Sollwerts des Mengenersatzsignals (S) zu einem ermittelten Istwert des Mengenersatzsignals (S) in Abhängigkeit der Triebstrangparameter adaptiert wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Schritt (42) zeitgleich zu einer ersten Testeinspritzung eines ersten Injektors (20d) mit einer ersten Ansteuerdauer (T) in den Leitzylinder (12d) eine zweite Testeinspritzung eines zweiten Injektors (20) mit einer zweiten Ansteuerdauer (T) in einen zweiten Zylinder (12) erfolgt und ein daraus resultierendes Mengenersatzsignal (S) als Überlagerung einer ersten Anregung durch den Leitzylinder (12d) und einer zweiten Anregung durch zweiten Zylinder (12) erfasst wird, dass aus dem Mengenersatzsignal (S) die erste Anregung und die zweite Anregung rekonstruiert und der jeweiligen Ansteuerdauer (T) des jeweiligen Injektors (20) zugeordnet wird, dass für den Leitzylinder (12d) im ersten Schritt (40) mittels Drucksensorverfahren eine erste eingespritzte Kraftstoffmenge ermittelt wird, dass diese erste eingespritzte Kraftstoffmenge als Referenz dient, und dass aus der zweiten Anregung mithilfe der Referenz eine zweite Kraft-

stoffmenge, die während der zweiten Ansteuerdauer (T) des zweiten Injektors (20) in den zweiten Zylinder (12) eingespritzt wurde, berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Nullmengenkalibrierung in einem Schubbetrieb, einem Anlauf und/oder einem Auslauf der Brennkraftmaschine (10) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach vorangehendem Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, dass eine Abschaltung der Einspritzungen nach Ausschalten der Brennkraftmaschine (10) erst bei Erreichen des Injektors (20), der in der Einspritzreihenfolge vor dem zu kalibrierenden Injektor (20) liegt, erfolgt.

8. Verfahren nach vorangehendem Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Anlauf der Brennkraftmaschine (10) ausgehend von einer Positionserkennung der stehenden Brennkraftmaschine (10), ein nächster Zylinder (12), in den eingespritzt und gezündet werden kann, bestimmt wird und ein, diesem Zylinder (12) zugeordneter Injektor (20) kalibriert wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Schritt (40) für den Leitzylinder (12d) die erste Ansteuerdauer (t_{vorL}) des ersten Injektors (20d) mittels Nullmengenkalibrierung ermittelt wird

10. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche programmiert ist

11. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (38) für eine Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 programmiert ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Fig. 2

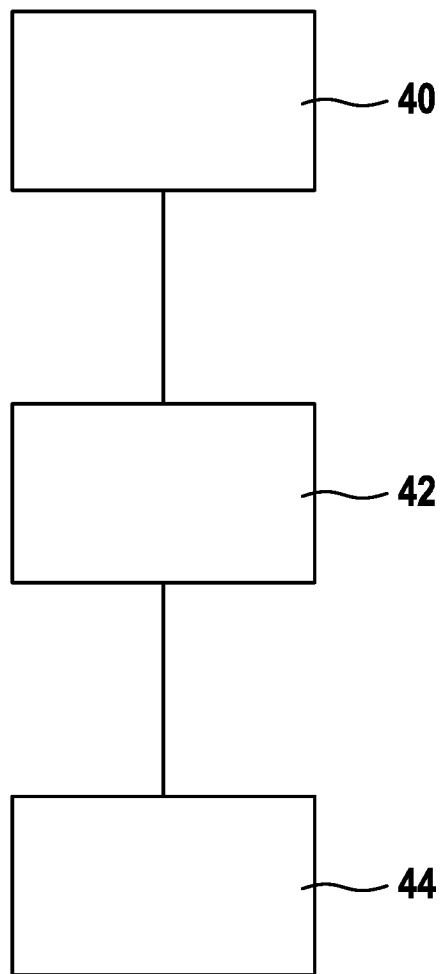


Fig. 3

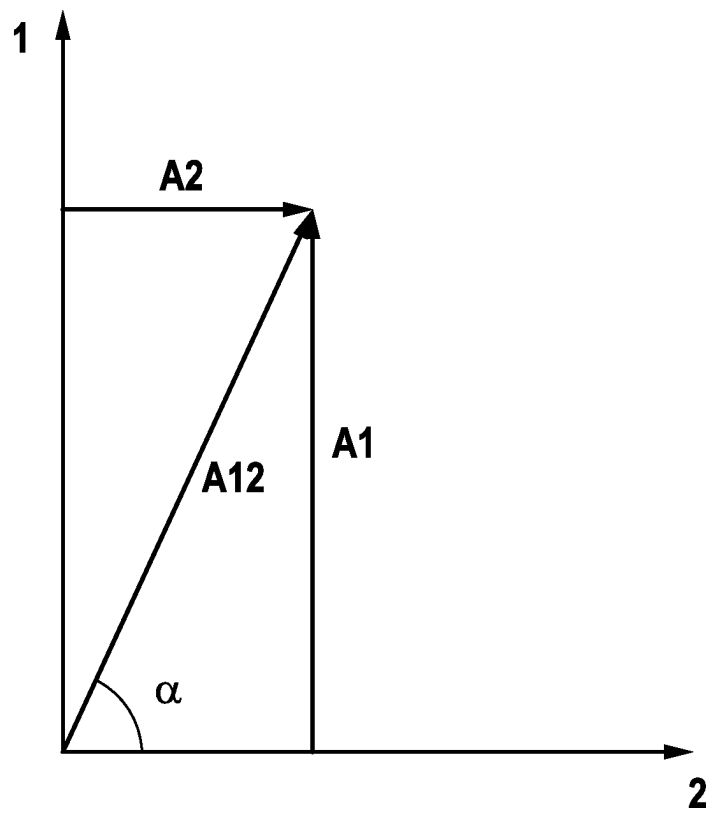


Fig. 4

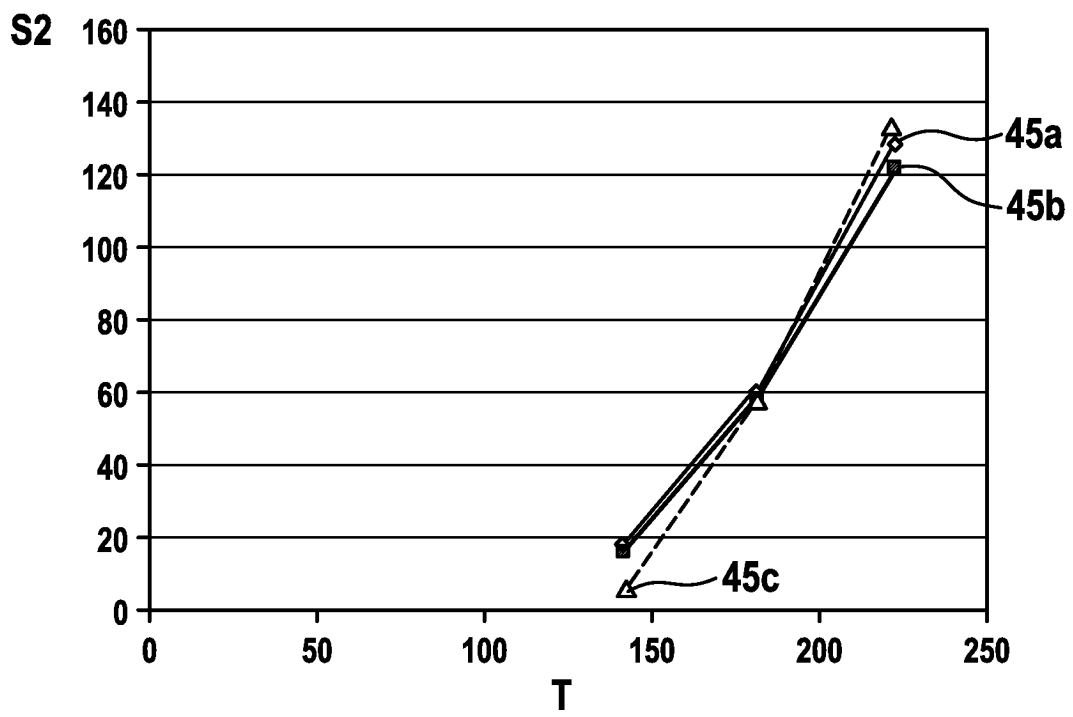


Fig. 5

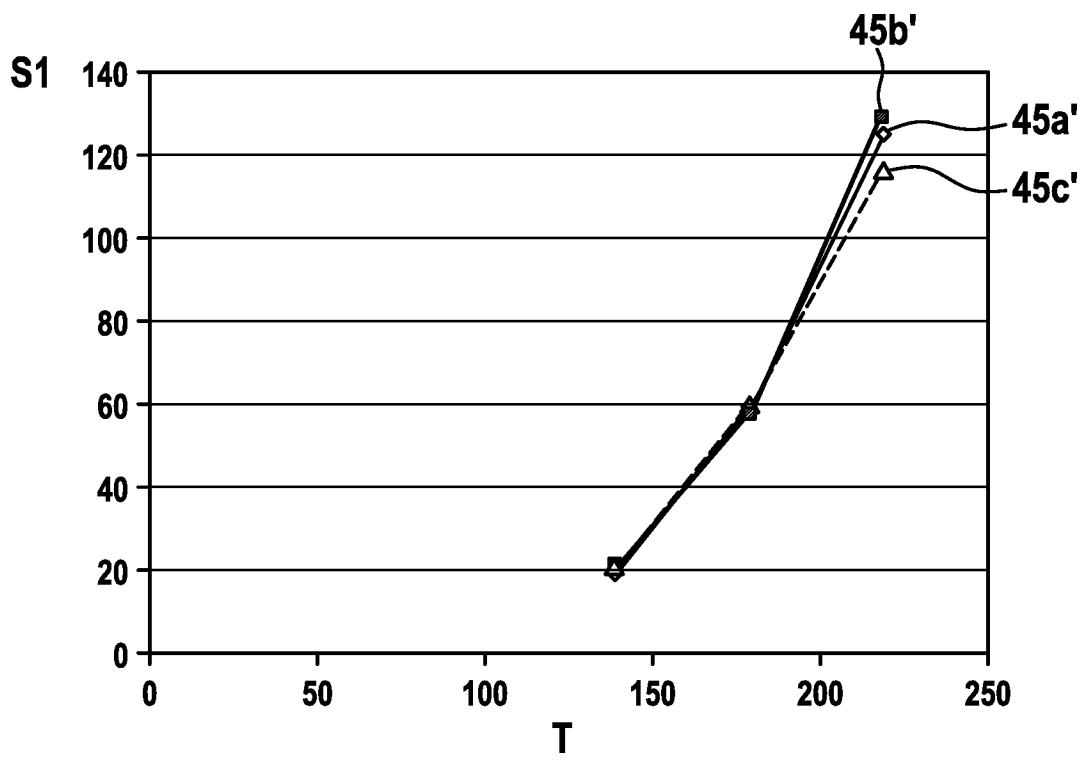


Fig. 6

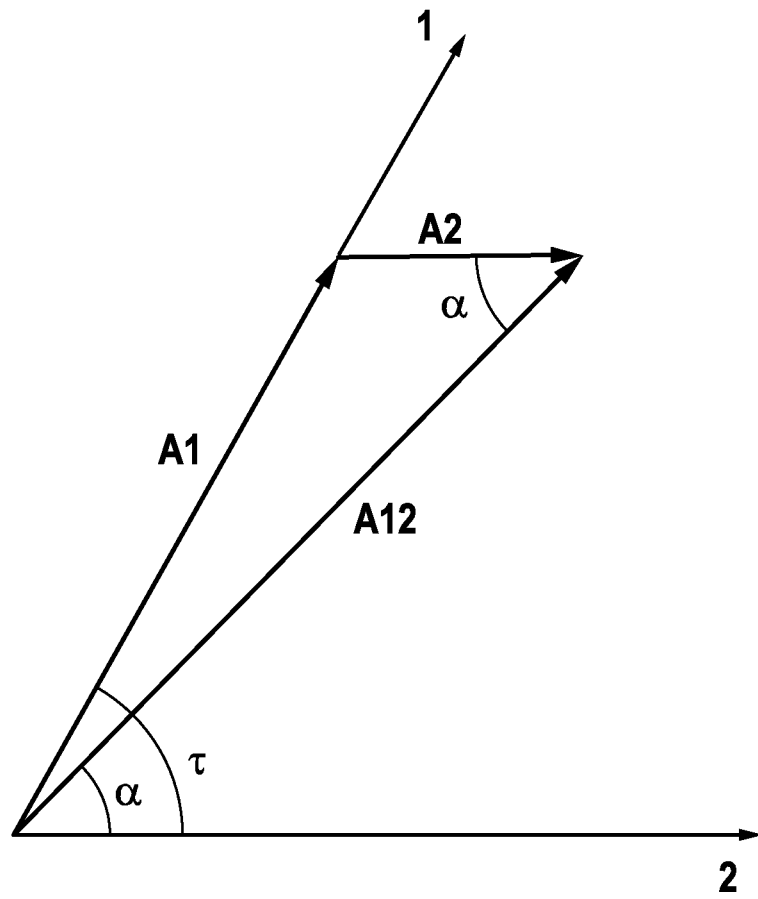


Fig. 7

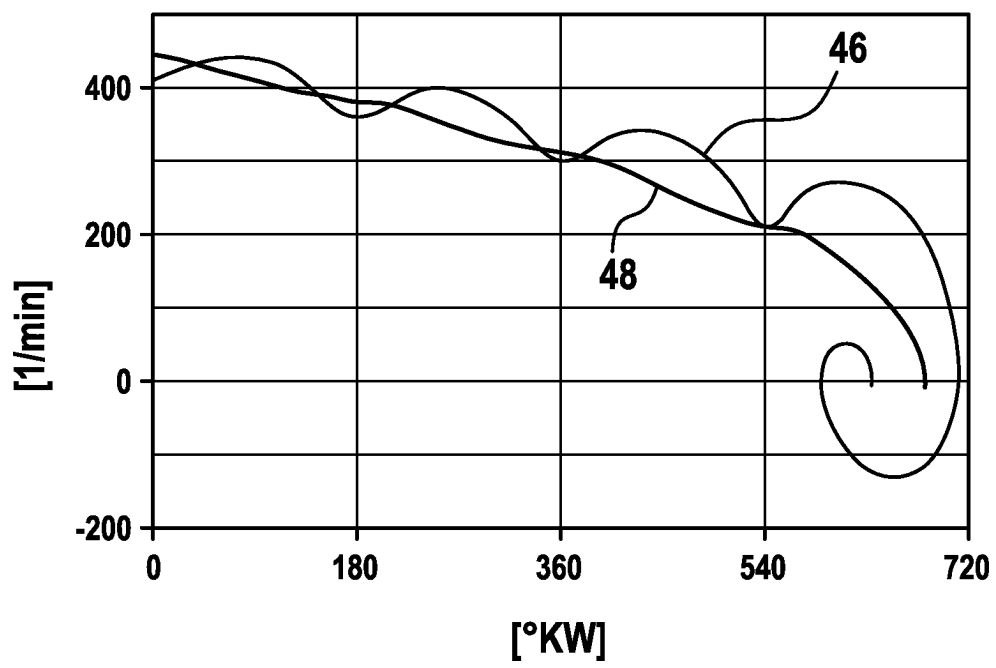


Fig. 8

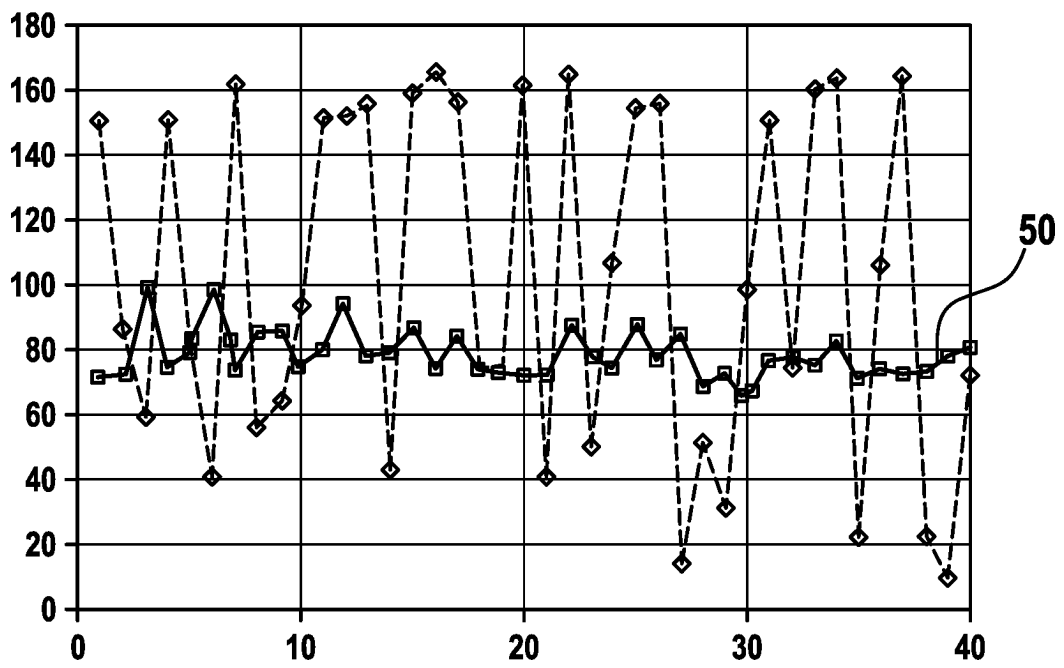


Fig. 9

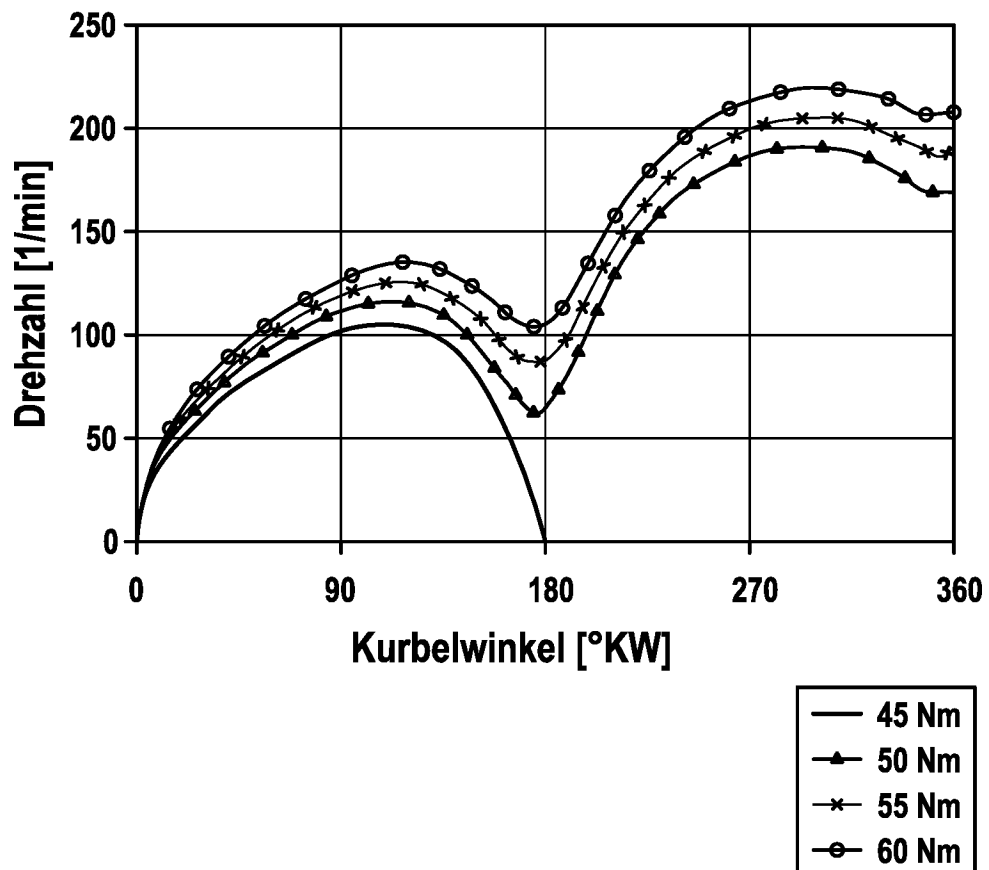


Fig. 10

