



(11)

EP 2 518 297 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
31.10.2012 Patentblatt 2012/44

(51) Int Cl.:  
*F02D 41/00* (2006.01)      *F02D 41/24* (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 12001303.2

(22) Anmeldetag: 28.02.2012

(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

(30) Priorität: 30.04.2011 DE 102011100109

(71) Anmelder: Volkswagen Aktiengesellschaft  
38440 Wolfsburg (DE)

(72) Erfinder:  
• Kallage, Franz  
30171 Hannover (DE)

- Schultalbers, Matthias  
38536 Meinersen/Ahnsen (DE)
- Magnor, Olaf  
38104 Braunschweig (DE)
- Sprysch, Andreas  
31234 Edemissen (DE)
- Steinbrecher, Christian  
38518 Gifhorn (DE)
- Schewik, Martin  
38104 Braunschweig (DE)
- Berns, Andreas  
38471 Rühen (DE)
- Hentschel, Lars  
38104 Braunschweig (DE)
- Schintzel, Kay Dr.  
38162 Destedt (DE)

(54) **Bestimmung und Verringerung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (61) zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor (1) mit mehreren Zylindern (2-5). Der Verbrennungsmotor (1) umfasst ein Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen (6-9) der mehreren Zylinder (2-5). Der Verbrennungsmotor (1) umfasst ein Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen (6-9) der mehreren Zylinder (2-5). Für zumindest einen ersten Zylinder und einen zweiten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) werden jeweils mehrere zeitlich aufeinanderfolgende erste Druckwerte (23) in dem Druckrohr (14) vor einer Kraftstoffeinspritzung (22) in den jeweiligen Zylinder erfasst und mehrere zeitlich aufeinanderfolgende zweite Druckwerte (24) in dem Druckrohr (14) nach der Kraftstoffeinspritzung (22) in den jeweiligen Zylinder erfasst. Die mehreren ersten Druckwerte (23) und die mehreren zweiten Druckwerte (24) werden jeweils für den jeweiligen Zylinder statistisch analysiert und ein Druckdifferenzwert (25) wird für den jeweiligen Zylinder auf der Grundlage der mehreren ersten Druckwerte (23) und der mehreren zweiten Druckwerte (24) bestimmt, wenn die mehreren ersten Druckwerte (23) und die mehreren zweiten Druckwerte (24) vorbestimmte statistische Eigenschaften erfüllen. In Abhängigkeit von den Druckdifferenzwerten (25) der jeweiligen Zylinder werden Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern bestimmt.

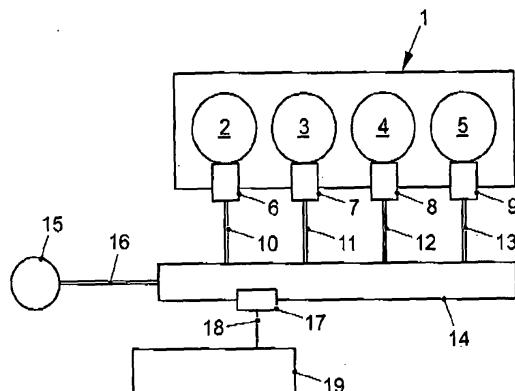


FIG. 1

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern und eine entsprechenden Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Verringerung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor und eine entsprechende Vorrichtung. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere eine Bestimmung und Verringerung des Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit einem gemeinsamen Druckrohr, welches Kraftstoff zu Einspritzventilen der mehreren Zylinder leitet. Einspritzsysteme mit einem derartigen Druckrohr werden auch als Common Rail-Einspritzsysteme bezeichnet.

**[0002]** Bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern trägt üblicherweise jeder der Zylinder einen Anteil zur Gesamtleistung des Motors bei. Üblicherweise wird dabei angestrebt, dass jeder Zylinder einen gleichen Anteil zur Gesamtleistung des Motors beiträgt. Dadurch können beispielsweise Emissionen, insbesondere eine Partikelemission und eine CO-Emission, verringert werden, ein Verbrauch reduziert werden und eine höhere Laufruhe erreicht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es erforderlich, dass jedem Zylinder eine gleiche Kraftstoffmenge zur Verfügung gestellt wird. Derartige Bestrebungen sind bei Einspritzmotoren unter dem Begriff der Einspritzmengengleichstellung bekannt.

**[0003]** In diesem Zusammenhang ist aus der JP 62186034 A eine Verbrennungskraftmaschine bekannt, bei welcher in entsprechende Zylinder eingespritzte Kraftstoffmengen ausgeglichen vierden, um Drehmomentschwankungen zu vermeiden. Dabei wird eine tatsächliche Kraftstoffeinspritzmenge aus einer Änderung eines Kraftstoffdrucks in einem Kraftstoffpfad vor und nach einer Einspritzung berechnet, um die grundlegende Einspritzmenge gemäß dem Ergebnis der Berechnung zu korrigieren. Die Verbrennungskraftmaschine weist einen Kraftstoffausgangsanschluss einer Kraftstoffpumpe auf, welcher mit einem Kraftstoffeinspritzventil über einen Kraftstoffpfad verbunden ist, welcher vorzugsweise ein Kraftstoffdrucksammelrohr aufweist, welches gemeinsam für jeden Zylinder und auf dem Weg dazwischen angeordnet ist. Ein Kraftstoffdrucksensor zum Erfassen eines Kraftstoffdrucks in dem Kraftstoffpfad ist in dem Kraftstoffdrucksammeirohr vorgesehen. Auf der Grundlage der Ausgabe des Kraftstoffdrucksensors wird eine Änderung des Drucks vor und nach einer Einspritzung bestimmt, um die tatsächliche Einspritzmenge zu berechnen und die grundlegende Einspritzmenge zu korrigieren.

**[0004]** Voraussetzung für eine derartige Einspritzdruck-basierte Einspritzmengengleichstellung ist eine möglichst genaue Erfassung des Drucks in dem Druckrohr. Eine entsprechende Verarbeitung der Druckwerte in dem Druckrohr erfolgt üblicherweise in einer digitalen Steuereinheit. Daher ist in diesem Zusammenhang eine möglichst genaue Wandlung analoger Druckwerte in ent-

sprechende Digitalwerte erforderlich. In diesem Zusammenhang ist aus der JP 06101550 A ein Verfahren bekannt, um die Steuergenauigkeit einer Drosselklappensteuervomchung einer Fahrzeugverbrennungskraftmaschine zu erhöhen. Eine Drosselklappenpositionssensorausgangsspannung, welche die aktuellen Position einer Drosselklappe anzeigt, wird in einem unteren Drosselklappenpositionsberich erfasst und die Ausgabe eines Erfassungsmittels zum Erfassen der Steuerposition der Drosselklappe wird derart verstärkt, dass die Genauigkeit einer Rückkopplungssteuerung der Drosseldappenposition durch einen Aktuator verstärkt wird. Die Genauigkeit der Steuerung, wenn eine Leerlaufgeschwindigkeitssteuerungsfunktion und eine erste Leerlaufsteuerungsfunktion verwendet werden, wird dadurch erhöht und die Stabilität der Leerlaufgeschwindigkeit kann sichergestellt werden. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang aus der US 5,746,178 ein Drosselklappensteuersystem bekannt, welches verhindert, dass eine Ausgabe eines Drosselklappensensors an einem Umschaltpunkt des Drosselklappensensors diskontinuierlich wird, und erreicht dadurch eine kontinuierliche Ausgabe über den gesamten Bereich der Sensorausgabe und dementsprechend kann eine hochgenaue Drosselklappensteuerung durchgeführt werden. Das System umfasst einen ersten Analog-Digital-Wandler zum Wandeln eines Ausgangssignals eines Drosselklappensensors in ein Digitalsignal, einen Verstärker zum Verstärken des Ausgangssignals des Drosselklappensensors, einen zweiten Analog-Digital-Wandler zum Wandeln des verstärkten Ausgangssignals in ein Digitalsignal und einen Verstärkfaktoreinsteller zum Empfangen von Ausgaben von dem einen oder dem anderen der Analog-Digital-Wandler und zum Skallieren des empfangenen Ausgangssignals. Eine Korrektur wird für den Verstärkfaktor des Einstellers bereitgestellt, wodurch ein kontinuierliches tatsächliches öffnungsgradsignal ohne Stufen über den gesamten Bereich der Drosselklappensensorausgabe erzielbar ist.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zur Mengengleichstellung bereitzustellen, welches insbesondere eine hohe Systemrobustheit aufweist, so dass das Verfahren auch beispielsweise im Falle einer Ventilverkokung oder gealterter Ventilen zuverlässig arbeitet.

**[0006]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern nach

**[0007]** Anspruch 1, ein Verfahren zur Verringerung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern nach Anspruch 10, eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern nach Anspruch 11 und ein Fahrzeug nach Anspruch 13 gelöst. Die abhängigen Ansprüche definieren bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

**[0008]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein

Verfahren zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern bereitgestellt. Der Einspritzmengenunterschied umfasst einen Unterschied zwischen einer ersten Einspritzmenge in einen ersten Zylinder der mehreren Zylinder und einer zweiten Einspritzmenge in einen zweiten Zylinder der mehreren Zylinder. Bei einem Verbrennungsmotor mit mehr als zwei Zylindern, beispielsweise vier Zylindern oder sechs Zylindern, kann der Einspritzmengenunterschied zwischen zwei beliebigen der vier oder sechs Zylinder bestimmt werden oder der Einspritzmengenunterschied zwischen einem Referenzzyylinder und einem beliebigen weiteren Zylinder bestimmt werden. Der Verbrennungsmotor umfasst weiterhin ein Druckrohr zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen von zumindest dem ersten und dem zweiten Zylinder. Vorzugsweise umfasst der Verbrennungsmotor ein gemeinsames Druckrohr zur Zuführung von Kraftstoff zu den Einspritzventilen von allen Zylindern. Eine Einspritzung mit einem derartigen gemeinsamen Druckrohr wird auch als Common Rail-Einspritzung bezeichnet. Bei dem Verfahren wird zumindest für den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder, vorzugsweise für jeden Zylinder, folgendes durchgeführt: in dem jeweiligen Zylinder werden mehrere zeitlich aufeinanderfolgende erste Druckwerte in dem Druckrohr vor einer Kraftstoffeinspritzung in den Zylinder erfasst und mehrere zeitlich aufeinanderfolgende zweite Druckwerte in dem Druckrohr nach der Kraftstoffeinspritzung in den jeweiligen Zylinder erfasst. Die mehreren ersten Druckwerte werden statistisch analysiert und die mehreren zweiten Druckwerte werden statistisch analysiert. Auf der Grundlage der mehreren ersten Druckwerte und der mehreren zweiten Druckwerte wird für den jeweiligen Zylinder ein jeweiliger Differenzdruckwert bestimmt, wenn die mehreren ersten Druckwerte und die mehreren zweiten Druckwerte mindestens eine vorbestimmte statistische Eigenschaft erfüllen.

**[0009]** Somit wird für den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder, oder gegebenenfalls für jeden der mehreren Zylinder, jeweils ein Druckdifferenzwert bestimmt, sofern die zugrundeliegenden erfassten Druckwerte vorbestimmte statistische Eigenschaften erfüllen. In Abhängigkeit von dem Druckdifferenzwert des ersten Zylinders und dem Druckdifferenzwert des zweiten Zylinders wird der Einspritzmengenunterschied zwischen dem ersten Zylinder und dem zweiten Zylinder bestimmt. Ebenso können Einspritzmengenunterschiede zwischen weiteren der mehreren Zylinder in Abhängigkeit von entsprechenden Druckdifferenzwerten dieser Zylinder bestimmt werden. Indem die ersten und zweiten Druckwerte statistisch analysiert werden und nur dann ein Druckdifferenzwert für den jeweiligen Zylinder bestimmt wird, wenn die ersten Druckwerte und die zweiten Druckwerte bestimmte statistische Eigenschaften erfüllen, kann sichergestellt werden, dass nur Druckwerte für die Bestimmung des Einspritzmengenunterschieds berücksichtigt werden, welche nicht oder nur geringfügig störbehaftet

sind. Dadurch kann eine riachgesetzte Kraftstoffdruck-basierte Einspritzmengengleichstellung auf zuverlässigen Daten arbeiten, wodurch die Robustheit der Einspritzmengengleichstellung erhöht werden kann.

**[0010]** Gemäß einer Ausführungsform wird zum Bestimmen des Druckdifferenzwerts des jeweiligen Zylinders ein erster Druckmittelwert durch Mitteln der mehreren ersten Druckwerte und ein zweiter Druckmittelwert durch Mitteln der mehreren zweiten Druckwerte bestimmt. Der Druckdifferenzwert wird dann in Abhängigkeit von dem ersten Druckmittelwert und dem zweiten Druckmittelwert bestimmt. Da der Druckdifferenzwert nur dann bestimmt wird, wenn die ersten und zweiten Druckwerte vorbestimmte statistische Eigenschaften erfüllen, kann der Druckdifferenzwert auf einfache Art und Weise zuverlässig anhand der Mittelwerte der ersten Druckwerte und zweiten Druckwerte bestimmt werden. Beinhaltet die Druckwerte transiente Störungen, beispielsweise in Form von Signalspitzen, beispielsweise aufgrund von Zündereignissen, wird der Druckdifferenzwert nicht bestimmt und die Messung verworfen. Erfüllen die Druckwerte hingegen die vorbestimmten statistischen Eigenschaften, so steht eine ausreichende Anzahl von Druckwerten zur Verfügung, um durch Mittelung einen mittleren Druck vor der Kraftstoffeinspritzung und einen mittleren Druck nach der Kraftstoffeinspritzung zuverlässig bestimmen zu können. Auf der Grundlage der Drücke vor und nach der Kraftstoffeinspritzung kann dann der Druckdifferenzwert zuverlässig bestimmt werden. Der Druckdifferenzwert steht in Beziehung zu der in den Zylindern eingespritzten Kraftstoffmenge und kann daher direkt zur Einspritzmengengleichstellung verwendet werden.

**[0011]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das statistische Analysieren der mehreren ersten Druckwerte ein Bestimmen und Analysieren eines Histogramms der mehreren ersten Druckwerte. Ebenso kann das statistische Analysieren der mehreren zweiten Druckwerte ein Bestimmen und Analysieren eines Histogramms der mehreren zweiten Druckwerte umfassen. Das Histogramm stellt beispielsweise eine Häufigkeitsverteilung der mehreren ersten bzw. zweiten Druckwerte dar. Anhand der Häufigkeitsverteilung kann beurteilt werden, ob transiente Störungen oder Signalspitzen, beispielsweise aufgrund von Zündereignissen, die Druckwerte verfälscht haben. Beispielsweise kann die Häufigkeitsverteilung daraufhin überprüft werden, ob sie im Wesentlichen einer Normalverteilung entspricht oder nicht. Wenn die ersten bzw. zweiten Druckwerte im Wesentlichen einer Normalverteilung entsprechen, liegen keine Störungen vor und die Druckdifferenz kann anhand eines Unterschieds zwischen einem Mittelwert der ersten Druckwerte und einem Mittelwert der zweiten Druckwerte bestimmt werden. Ob die Häufigkeitsverteilung im Wesentlichen einer Normalverteilung entspricht oder nicht, kann beispielsweise anhand einer Varianz der Druckwerte festgestellt werden.

**[0012]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wer-

den die mehreren ersten und zweiten Druckwerte für zu-  
mindest den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder  
mit einem gemeinsamen Drucksensor, welcher in dem  
gemeinsamen Druckrohr angeordnet ist, erfassst. Dar-  
über hinaus können, wenn Einspritzmengenunterschie-  
de für alle Zylinder des Verbrennungsmotors bestimmt  
werden sollen, die mehreren ersten und zweiten Druck-  
werte für jeden der mehreren Zylinder mit den gemein-  
samen Drucksensor in dem gemeinsamen Druckrohr er-  
fassst werden. Dadurch Ist eine kostengünstige Realisie-  
rung des Verfahrens mit nur einem gemeinsamen Druck-  
sensor möglich.

**[0013]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform stellt  
der Drucksensor ein elektrisches Analogsignal bereit,  
welches einen aktuellen Druck in dem Druckrohr dar-  
stellt. Ein Druckwert des aktuellen Drucks wird aus dem  
elektrischen Analogsignal folgendermaßen gewonnen:  
das elektrische Analogsignal des Drucksensors wird in  
ein erstes Digitalsignal umgewandelt. In Abhängigkeit  
von dem ersten Digitalsignal wird ein analoges Offsetsig-  
nal erzeugt. Aus dem elektrischen Analogsignal des  
Drucksensors und dem Offsetsignal wird ein analoges.  
Differenzsignal erzeugt, welches in ein zweites Digitalsig-  
nal umgewandelt wird. Der Druckwert wird schließlich  
in Abhängigkeit von dem ersten Digitalsignal und dem  
zweiten Digitalsignal bestimmt. Insbesondere im Umfeld  
von Automobilen weisen Analog-Digital-Wandler-Bau-  
steine nur eine verhältnismäßig geringe Auflösung von  
beispielsweise 8,10 oder 12 Bit auf. Derartige Wandler-  
bausteine sind kostengünstig verfügbar, schnell und zu-  
verlässig. Zur Bestimmung der Druckdifferenzwerte  
reicht jedoch diese Auflösung unter Umständen nicht  
aus. Daher wird, wie zuvor beschrieben, das elektrische  
Analogsignal des Drucksensors zunächst in ein erstes  
Digitalsignal mit beispielsweise einer Auflösung von 8,  
10 oder 12 Bit umgewandelt. Das erste Digitalsignal wird  
wiederum in ein analoges sogenanntes Offsetsignal um-  
gewandelt, welches beispielsweise mithilfe eines Diffe-  
renzverstärkers von dem elektrischen Analogsignal des  
Drucksensors abgezogen wird. Das so gewonnenen  
analoge Differenzsignal kann wiederum, vorzugsweise  
in einer verstärkten Form, einem weiteren 8, 10 oder 12  
Bit Analog-Digital-Wandler zugeführt werden, welcher  
aus dem Differenzsignal das zweite Digitalsignal bildet.  
Durch Kombinieren des ersten und zweiten Digitalsig-  
nals kann ein Digitalsignal höherer Auflösung mit bei-  
spieleweise 15 Bit gebildet werden. Somit lässt sich das  
elektrische Analogsignal erheblich genauer erfassen als  
mit im Fahrzeughbereich üblichen Auflösungsgenauigkei-  
ten. Dabei können übliche Analog-Digital-Wandler mit  
geringer Auflösung verwendet werden. Somit ist eine ko-  
stengünstige und sehr genaue Erfassung der Druckwer-  
te möglich.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform wird eine Kraft-  
stoffdruckpumpe, welche Kraftstoff in das Druckrohr  
pumpt, angesteuert. Die Kraftstoffpumpe wird derart an-  
gesteuert, dass sie in einem Zeitraum von einem Beginn  
des Erfassens der mehreren ersten Druckwerte bis zum

Ende des Erfassens der mehreren zweiten Druckwerte  
keinen Kraftstoff in das Druckrohr pumpt. Um die von  
einem Einspritzventil abgegebene Kraftstoffmenge an-  
hand des Druckabfalls in dem Druckrohr während eines

5 Einspritzvorgangs zuverlässig bestimmen zu können,  
sollte der Druck in dem Druckrohr einzig aufgrund der  
von dem Einspritzventil abgegebenen Kraftstoffmenge  
verändert werden. Demzufolge sollte In dem Zeitraum,  
in dem die mehreren ersten Druckwerte erfassst werden,  
10 die Kraftstoffmenge durch das Einspritzventil einge-  
spritzt wird und die mehreren zweiten Druckwerte erfassst  
werden, kein Kraftstoff in das Druckrohr nachgefördert  
werden. Durch eine geeignete Ansteuerung der Kraft-  
stoffpumpe, wie zuvor beschrieben, kann dies auf einfa-  
15 che Art und Weise erreicht werden.

**[0015]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird wei-  
terhin ein Verfahren zur Verringerung eines Einspritz-  
mengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit  
mehreren Zylindern bereitgestellt. Der Einspritzmengen-  
20 unterschied umfasst einen Unterschied zwischen einer  
ersten Erispritzmenge, welche in einen beliebigen er-  
sten Zylinder der mehreren Zylinder eingespritzt wird,  
und einer zweiten Einspritzmenge, welche in einen an-  
25 deren zweiten Zylinder der mehreren Zylinder einge-  
spritzt wird. Zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzven-  
tilen von zumindest dem ersten und dem zweiten Zylin-  
der, vorzugsweise zu allen der mehreren Zylinder, um-  
fasst der Verbrennungsmotor ein Druckrohr. Bei dem  
30 Verfahren wird ein Einspritzmengenunterschied zwi-  
schen zumindest dem ersten Zylinder und dem zweiten  
Zylinder wie zuvor beschrieben bestimmt und Veritif-  
steuefzeitspannen der Einspritzventile werden in Abhän-  
35 gigkeit von dem bestimmten Einspritzmengenunter-  
schied eingestellt. Aufgrund der robusten Bestimmung  
des Einspritzmengenunterschieds zwischen den Zylin-  
dern kann eine Einspritzmengengleichstellung zuverläs-  
sig durchgeführt werden. Da die zuvor bestimmten  
40 Druckdifferenzwerte in Beziehung zu den Einspritzmen-  
gen stehen, können die Einspritzmengen auf der Grund-  
lage der Druckdifferenzwerte korrigiert werden.

**[0016]** Weiterhin wird gemäß der vorliegenden Erfin-  
dung eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Einspritz-  
mengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit  
mehreren Zylindern bereitgestellt. Der Einspritzmengen-  
45 unterschied umfasst einen Unterschied zwischen einer  
ersten Einspritzmenge in einen ersten Zylinder der meh-  
reren Zylinder und einer zweiten Einspritzmenge in einen  
zweiten Zylinder der mehreren Zylinder. Der Verbren-  
nungsmotor umfasst ein Druckrohr zur Zuführung von  
50 Kraftstoff zu Einspritzventilen von zumindest dem ersten  
und zweiten Zylinder. Die Vorrichtung zur Bestimmung  
des Einspritzmengenunterschieds umfasst mindestens  
einen Drucksensor, welcher in dem Druckrohr zur Erfas-  
sung von Kraftstoffdruckwerten in dem Druerohr ange-  
55 ordnet ist, und eine Verarbeitungseinheit, welche mit  
dem mindestens einen Drucksensor gekoppelt ist. Die  
Verarbeitungseinheit ist ausgestaltet, für zumindest den  
ersten Zylinder und den zweiten Zylinder jeweils mehrere

zeitlich aufeinanderfolgende erste Druckwerte vor einer Einspritzung in den jeweiligen Zylinder mit dem Drucksensor zu erfassen und mehrere zeitlich aufeinanderfolgende zweite Druckwerte zu erfassen, welche nach der Einspritzung in den Zylinder in dem Druckrohr herrschen. Die mehreren ersten Druckwerte werden statistisch analysiert und die mehreren zweiten Druckwerte werden statistisch analysiert. Auf der Grundlage der mehreren ersten Druckwerte und der mehreren zweiten Druckwerte wird ein Druckdifferenzwert für den jeweiligen Zylinder bestimmt, wenn die mehreren ersten Druckwerte und die mehreren zweiten Druckwerte eine vorbestimmte statistische Eigenschaft erfüllen, welche bei der statistischen Analyse der ersten und zweiten Druckwerte bestimmt wurde. Somit kann für den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder jeweils ein Druckdifferenzwert bestimmt werden. Der Einspritzmengenunterschied zwischen dem ersten Zylinder und dem zweiten Zylinder wird in Abhängigkeit von dem Druckdifferenzwert des ersten Zylinders und dem Druckdifferenzwert des zweiten Zylinders bestimmt, da der Druckdifferenzwert und die eingespritzte Kraftstoffmenge im Verhältnis zueinander stehen.

**[0017]** Durch Vergleichen der Druckdifferenzwerte der verschiedenen Zylinder ist es daher auf einfache Art und Weise möglich, Einspritzmengenunterschiede festzustellen und bei der Bemessung nachfolgender Einspritzmengen, beispielsweise über veränderte Ventilansteuerzeiten, zu berücksichtigen und zu korrigieren, so dass eine Mengengleichstellung erreicht werden kann. Durch das statistische Analysieren der ersten und zweiten Druckwerte können störbehaftete Messungen zuverlässig und auf einfache Art und Weise erkannt werden. Wenn Störungen erkannt wurden, können die Messwerte verworfen werden, so dass Einspritzmengenunterschiede nur auf der Grundlage von störungsfreien oder störungsfreien Messwerten bestimmt werden.

**[0018]** Darüber hinaus kann die zuvor beschriebene Vorrichtung zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens oder einer seiner Ausführungsformen ausgestaltet sein, so dass die Vorrichtung auch die im Zusammenhang mit dem zuvor beschriebenen Verfahren aufgeführten Vorteile aufweist.

**[0019]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren anhand von bevorzugten Ausführungsformen beschrieben werden.

Fig. 1 zeigt schematisch einen Verbrennungsmotor mit einer Vorrichtung zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt einen Kraftstoffdruckverlauf in einem Druckrohr vor und nach einem Einspritzvorgang.

Fig. 3A und Fig. 3B zeigen Histogramme von Kraftstoffdruckwerten gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 4 zeigt schematisch eine Schaltung zur Digitalisierung von einem Drucksensorsignal gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 5 zeigt eine Aufteilung eines Messbereichs zum Erfassen von Druckwerten mit der in Fig. 4 gezeigten Schaltung in acht Abschnitte.

Fig. 6 zeigt schematisch ein Fahrzeug mit einer Vorrichtung zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0020]** Fig. 1 zeigt schematisch einen Verbrennungsmotor 1 mit vier Zylindern 2-5, welchen jeweils ein Einspritzventil 6-9 zugeordnet ist. Die Einspritzventile 6-9 sind beispielsweise elektrisch gesteuerte Einspritzventile, welche aufgrund einer elektrischen Ansteuerung einen Kraftstofffluss durch das Einspritzventil freigeben oder sperren. Eingangsseitig sind die Einspritzventile 6-9 über jeweils zugeordnete Leitungen 10-13 mit einem gemeinsamen Druckrohr 14 verbunden. Ausgangsseitig stehen die Einspritzventile 6-9 mit den Innenräumen der Zylinder 2-5 in Verbindung. Mithilfe einer Kraftstoffpumpe 15 wird Kraftstoff von einem Kraftstofftank über eine Leitung 16 in das Druckrohr 14 geleitet. Die Kraftstoffpumpe 15 baut beim Pumpen des Kraftstoffs einen Druck in dem Druckrohr 14 auf, welcher ausreichend groß ist, um den Kraftstoff bei geöffneten Einspritzventilen 6-9 in die Zylinder 2-5 zu spritzen. In dem Druckrohr 14 ist ein Drucksensor 17 angeordnet, welcher in Abhängigkeit von dem in dem Druckrohr 14 herrschenden Kraftstoffdruck ein entsprechendes analoges Spannungssignal bereitstellt. Dieses Spannungssignal wird über eine elektrische Leitung 18 einer Verarbeitungseinheit 19 zugeführt. In der Verarbeitungseinheit 19 wird das dem Kraftstoffdruck entsprechende elektrische Signal des Drucksensors 17 digitalisiert und beispielsweise mithilfe einer digitalen Steuerung oder einem Mikroprozessor weiterverarbeitet. Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung mit dem gemeinsamen Druckrohr 14 für die Einspritzventile 7-9 wird auch als Common Rail-Einspritzung bezeichnet.

**[0021]** Bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern ergibt sich bei der Einspritzung von Kraftstoff in die einzelnen Zylinder durch Streuungen insbesondere der mechanischen Eigenschaften der Einspritzvorrichtung, beispielsweise der Einspritzventile 6-9, bei beispielsweise einem Dieselmotor mit dem gemeinsamen Druckrohr 14 ein systematischer Fehler. Beispielsweise können aufgrund von Fertigungstoleranzen der Einspritzventile 6-9 und unterschiedlicher Abnutzung bzw. Alterungerscheinungen bei gleicher Einspritzdauer und ansonsten identischen Randbedingungen unterschiedliche Kraftstoffmengen für die Verbrennung in die einzelnen Zylindern 2-5 zugeführt werden. Die unterschiedlichen Kraftstoffmengen führen zu einer unterschiedlichen Leitungsabgabe der einzelnen Zylinder 2-5, wodurch eine Laufruhe des Verbrennungsmotors 1 beeinträchtigt

werden kann und eine Menge an schädlichen Abgaskomponenten erhöht werden kann. Darüber hinaus kann der Verbrauch des Verbrennungsmotors durch die unterschiedlichen Einspritzmengen erhöht werden. Um die Einspritzmengen der einzelnen Zylinder 2-5 aneinander anzugeleichen, ist es zunächst erforderlich, die Einspritzmengenunterschiede zwischen den Zylindern 2-5 zu bestimmen.

**[0022]** Zur Bestimmung der Einspritzmenge wird eine Druckdifferenz zwischen einem Druck vor und einem Druck nach einer Einspritzung zylinderindividuell mithilfe des Drucksensors 17 bestimmt. Die Druckdifferenz, d.h. der Druckabfall in dem Druckrohr 14, welcher während des Einspritzvorgangs auftritt, steht in direkter Beziehung zu der bei dem Einspritzvorgang eingespritzten Kraftstoffmenge. Dazu wird der Druck In dem Druckrohr 14 vor der Einspritzung mit dem Druck in dem Druckrohr 14 nach der Einspritzung verglichen. Für eine gewisse Zeit bleibt der Druck in dem Druckrohr 14 vor der Einspritzung im Wesentlichen auf einem Niveau, einem so genannten Druckplateau, und ebenso bleibt der Druck in dem Druckrohr 14 nach der Einspritzung im Wesentlichen auf einem weiteren Niveau oder Druckplateau. In diesen Druckplateaus können jedoch transiente Störungen auftreten, beispielsweise in Form von Druckspitzen, welche durch Zündereignisse auftreten.

**[0023]** Fig. 2 zeigt einen Druckverlauf 21 (durchgezogene Linie) vor und nach einem Einspritzvorgang 22. Deutlich zu erkennen sind das Druckplateau 23 vor der Einspritzung 22 und das Druckplateau 24 nach der Einspritzung 22. Aus dem Druckunterschied zwischen den Druckplateaus 23 und 24 kann eine Druckdifferenz 25 bestimmt werden, welche als Maß für die eingespritzte Kraftstoffmenge in den entsprechenden Zylinder verwendet werden kann. Wie aus Fig. 2 weiterhin ersichtlich ist, schwankt der Druckverlauf innerhalb der Plateaus 23 und 24. Durch eine Filterung der Druckwerte können diese Schwankungen verringert werden, wie in Fig. 2 durch die gestrichelte Linie 26 dargestellt ist. Ein mittlerer Druckwert 27 des Druckplateaus 23 vor der Einspritzung kann beispielsweise durch eine Mittelung der gefilterten Druckwerte 26 in einem geeigneten Bereich vor der Einspritzung 22 bestimmt werden. Ebenso kann ein mittlerer Druckwert 28 durch Mittelung der gefilterten Druckwerte 26 in einem geeigneten Bereich des Druckplateaus 24 nach der Einspritzung 22 bestimmt werden. Die geeigneten Bereiche vor und nach der Einspritzung 22 werden mit einem vorbestimmten Sicherheitsabstand zum Einspritzzeitpunkt gewählt, so dass durch die Einspritzung veränderte Druckwerte nicht in die Bestimmung der Druckdifferenz 25 eingehen.

**[0024]** Durch die Filterung können transiente Störungen im Bereich der Druckplateaus 23 und 24 beseitigt werden. Nichtsdestotrotz können sowohl transiente Störungen als auch Signalspitzen im

**[0025]** Bereich der Druckplateaus 23 und 24 die Messung verfälschen, so dass daraus fehlerhafte mittlere Druckwerte 27 und 28 resultieren. Um dies zu vermeiden,

werden die gemessenen Druckwerte vor der Einspritzung 22 und die gemessenen Druckwerte nach der Einspritzung 22 jeweils einer statistischen Analyse unterzogen. Anhand der statistischen Analyse wird bestimmt, ob

- 5 die erfassten Druckwerte plausibel sind oder nicht. Dazu werden die Druckwerte des Plateaus 23 vor der Einspritzung 22 beispielsweise in ein Histogramm eingetragen. Fig. 3A und 3B zeigen mögliche Histogramme, welche auf der Grundlage der Druckwerte entstehen können.
- 10 Anhang des Histogramms kann dann entschieden werden, ob die Druckwerte plausibel sind oder nicht. Fig. 3A zeigt beispielsweise eine Häufigkeitsverteilung der Druckwerte, welche im Wesentlichen einer Normalverteilung entspricht. Wenn keine Signalspitzen und nur geringe transiente Störungen in dem Druckplateau 23 vorhanden sind, wird üblicherweise eine Häufigkeitsverteilung wie in Fig 3A auftreten, welche im Wesentlichen der Normalverteilung entspricht. Die Druckwerte können demzufolge als plausibel eingestuft werden. Fig. 3B zeigt
- 15 eine Häufigkeitsverteilung, welche nicht-normalverteilt ist, sondern zwei Verteilungsschwerpunkte aufweist. Eine derartige nicht-normalverteilte Häufigkeitsverteilung ist nicht plausibel und daher besteht die Gefahr, dass ein aus den Druckwerten bestimmter Mittelwert nicht für die
- 20 Bestimmung der Druckdifferenz und der Einspritzmenge geeignet ist. Demzufolge wird eine Messung verworfen, wenn anhand des Histogramms eine nicht plausible Häufigkeitsverteilung festgestellt wird. Ebenso wird für die Druckwerte des Druckplateaus 24 nach der Einspritzung 22 ein entsprechendes Histogramm erstellt und auf seine Plausibilität hin analysiert. Wenn Druckwerte von einem der Plateaus 23. oder 24 als nicht plausibel eingestuft werden, wird die gesamte Messung verworfen. Dadurch können Fehlsteuerungen aufgrund von fehlerhaften Messwerten vermieden werden.

- [0026]** Wie aus Fig. 2 weiterhin ersichtlich ist, muss der Druck in einem weiten Druckbereich mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Da die Auswertung der von dem Drucksensor 17 erfassten Druckwerte üblicherweise mithilfe einer digitalen Steuerung durchgeführt wird, sind die von dem Drucksensor 17 bereitgestellten Analogsignale mit einer möglichst hohen Auflösung in entsprechende Digitalsignale umzuwandeln. Darüber hinaus ist eine hohe Geschwindigkeit bei der Umwandlung der analogen Signale des Sensors 17 in entsprechende digitale Signale erforderlich, um eine geeignet hohe Abtastrate des Druckverlaufs in dem Druckrohr 14 zu erreichen. Aus Kosten- und Zuverlässigkeitgründen werden im Automotive-Umfeld üblicherweise nur Analog-Digital-Wandler-Bausteine mit einer relativ geringen Auflösung von typischerweise 8, 10 oder 12 Bit verwendet. Diese Wandlerbausteine weisen üblicherweise eine ausreichend hohe Wandergeschwindigkeit auf, die relativ geringe Auflösung reicht jedoch für das zuvor beschriebene Verfahren im Allgemeinen nicht aus. Daher wird das Spannungssignal, welches von dem Drucksensor 17 über die Leitung 18 zu der Verarbeitungseinheit 19 übertragen wird, mit beispielsweise der in Fig. 4 dar-

gestellten Schaltung in einen entsprechenden Digitalwert umgewandelt. Dazu umfasst die Verarbeitungseinheit 19 einen Mikrocontroller 40, welcher mehrere Analog-Digital-Wandlereingänge 41-43 für mehrere Analog-Digital-Wandler ADC1, ADC2 und ADC3 aufweist. Jeder der Analog-Digital-Wandler weist beispielsweise eine Auflösung von 10 oder 12 Bit auf. Das Spannungssignal Ue wird einerseits über den Eingang 41 dem ADC1 1 zugeführt und zusätzlich über einen Impedanzwandler 44 an einen Verstärker 45 geführt. Eine Offsetspannung  $U_{Offset}$  für den Verstärker 45 wird über einen Digital-Analog-Wandler-Baustein DAC 46 eingestellt. Dadurch kann an dem Eingang 42 des ADC2 ein verstärkter Signalausschnitt des Spannungssignals Ue in ein entsprechendes Digitalsignal umgewandelt werden. Am Eingang 43 liegt die Offsetspannung zur Kontrolle an dem Mikrocontroller 40 an. Die Einstellung der Offsetspannung  $U_{Offset}$  erfolgt über einen Ausgang 47 des Mikrocontrollers 40, welcher den Digital-Analog-Wandler 46 steuert. Das in Fig. 4 gezeigte Schaltungsbeispiel kann durch einen Ersatz der kontinuierlichen Einstellung der Offsetspannung  $U_{Offset}$  durch eine Einstellung von diskreten Offsetspannungen vereinfacht werden. Zudem kann die Kontrollmessung der Offsetspannung in dem Mikrocontroller 40 entfallen.

**[0027]** Eine mögliche Unterteilung des Spannungsmessbereichs durch die Einrichtung eines stufenweise parametrierbaren Spannungsoffsets und einer festen Verstärkung des Spannungssignals Ue ist in Fig. 5 dargestellt. Beispielsweise soll ein Spannungssignal Ue im Bereich von 0-5 Volt mit einer hohen Auflösung erfasst werden. Dies wird durch Verstärkung des Signals um den Faktor 4,5 und ausschnittsweiser Erfassung in acht Messbereichen zu je 12 Bit erreicht. Die Messbereiche überlappen sich jeweils um die Hälfte ihrer Größe. Der Ausgang des ADC2 wird beispielsweise im Raster von 1 ms ausgelesen und die Werte in einem entsprechenden Puffer abgelegt. Die Auswahl der Messbereiche 0-7 der Fig. 5 erfolgt in Abhängigkeit einer Messung des Spannungssignals Ue mithilfe des Analog-Digital-Wandlers ADC1 und einer entsprechenden Einstellung des Digital-Analog-Wandlers DAC 46. Mithilfe der Schaltung der Fig. 4 kann die Auflösung bei der Digitalisierung des Drucksensorsignals Ue erheblich verbessert werden, ohne dass die Wandlungszeiten erheblich vergrößert werden. Somit ist eine kostengünstige und genaue Erfassung von Druckwerten in dem Druckrohr 14 mit üblichen Analog-Digital-Wandlern möglich.

**[0028]** Fig. 6 zeigt schließlich ein Fahrzeug 60 mit dem Verbrennungsmotor 1 und einer Vorrichtung 61 zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei dem Verbrennungsmotor 1. Die Vorrichtung 61 umfasst beispielsweise die Komponenten 17-19 der Fig. 1. Die Vorrichtung 61 kann weiterhin eine Motorsteuerung für den Verbrennungsmotor 1 umfassen und auf Grundlage des bestimmten Einspritzmengenunterschieds die Einspritzmengen der einzelnen Zylinder 2-5 individuell einstellen, um somit eine Einspritzmengengleichstellung der Zylinder 2-5 zu erreichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern, wobei der Einspritzmengenunterschied einen Unterschied zwischen einer ersten Einspritzmenge in einen ersten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) und einer zweiten Einspritzmenge in einen zweiten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) umfasst, wobei der Verbrennungsmotor (1) ein Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen (6-9) von zumindest dem ersten und zweiten Zylinder umfasst, wobei das Verfahren umfasst:
  - für zumindest den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder jeweils:
    - Erfassen mehrerer zeitlich aufeinanderfolgender erster Druckwerte (23) in dem Druckrohr (14) vor einer Kraftstoffeinspritzung (22) in den Zylinder,
    - Erfassen mehrerer zeitlich aufeinanderfolgender zweiter Druckwerte (24) in dem Druckrohr (14) nach der Kraftstoffeinspritzung (22) in den Zylinder,
    - statistisches Analysieren der mehreren ersten Druckwerte (23),
    - statistisches Analysieren der mehreren zweiten Druckwerte (24), und
  - Bestimmen eines Druckdifferenzwerts (25) für den Zylinder auf der Grundlage der mehreren ersten Druckwerte (23) und der mehreren zweiten Druckwerte (24), wenn die mehreren ersten Druckwerte (23) und die mehreren zweiten Druckwerte (24) mindestens eine vorbestimmte statistische Eigenschaft erfüllen, und
  - Bestimmen des Einspritzmengenunterschieds in Abhängigkeit von dem Druckdifferenzwert (25) des ersten Zylinders und dem Druckdifferenzwert (25) des zweiten Zylinders.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Bestimmens des Druckdifferenzwerts (25) umfasst:
  - Bestimmen eines ersten Druckmittelwerts (27) durch Mitteln der mehreren ersten Druckwerte (23),
  - Bestimmen eines zweiten Druckmittelwerts (28) durch Mitteln der mehreren zweiten Druckwerte (24), und
  - Bestimmen des Druckdifferenzwerts (25) in Abhängigkeit von dem ersten Druckmittelwert (27) und dem zweiten Druckmittelwert (28).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das statistische Analysieren der mehreren ersten Druckwer-

- te (23) ein Bestimmen und Analysieren eines Histogramms der mehreren ersten Druckwerte (23) umfasst.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das statistische Analysieren der mehreren zweiten Druckwerte (24) ein Bestimmen und Analysieren eines Histogramms der mehreren zweiten Druckwerte (24) umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei das Bestimmen und Analysieren des Histogramms umfasst:
- Bestimmen eines Histogramms, welches eine Häufigkeitsverteilung der mehreren Druckwerte (23, 24) darstellt, und
  - Bestimmen, ob die Häufigkeitsverteilung im Wesentlichen einer Normalverteilung entspricht oder nicht.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mehreren zeitlich aufeinanderfolgenden ersten Druckwerte (23) und die mehreren zeitlich aufeinanderfolgenden zweiten Druckwerte (24) für zumindest den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder in einem gemeinsamen Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu den Einspritzventilen (6-9) von zumindest dem ersten und zweiten Zylinder erfasst werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mehreren ersten (23) und zweiten Druckwerte (24) für zumindest den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder mit einem gemeinsamen Drucksensor (17), welcher in dem gemeinsamen Druckrohr (14) angeordnet ist, erfasst werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Drucksensor (17) ein einen aktuellen Druck darstellendes elektrisches Analogsignal  $U_e$  bereitstellt, wobei ein Erfassen eines Druckwerts der mehreren ersten (23) oder zweiten Druckwerte (24) mit dem in dem Druckrohr (14) angeordneten Drucksensor (17) umfasst:
- Umwandeln des elektrischen Analogsignals  $U_e$  des Drucksensors (17) in ein erstes Digitalsignal,
  - Erzeugen eines analogen Offset-Signals  $U_{Offset}$  in Abhängigkeit von dem ersten Digitalsignal,
  - Erzeugen eines analogen Differenzsignals aus dem elektrischen Analogsignal  $U_e$  des Drucksensors (17) und dem Offset-Signal  $U_{Offset}$ ,
  - Umwandeln des Differenzsignals in ein zweites Digitalsignal, und
  - Bestimmen des Druckwerts in Abhängigkeit von dem ersten Digitalsignal und dem zweiten
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend ein Ansteuern einer Kraftstoffdruckpumpe (15), welche Kraftstoff in das Druckrohr (14) pumpt, wobei die Kraftstoffpumpe (15) derart angesteuert wird, dass sie in einem Zeitraum von dem Erfassen der mehreren ersten Druckwerte (23) bis zum Erfassen der mehreren zweiten Druckwerte (24) keinen Kraftstoff in das Druckrohr (14) pumpt.
10. Verfahren zur Verringerung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern, wobei ein Einspritzmengenunterschied einen Unterschied zwischen einer ersten Einspritzmenge in einen ersten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) und einer zweiten Einspritzmenge in einen zweiten Zylinder (2-5) der mehreren Zylinder umfasst, wobei der Verbrennungsmotor (1) ein Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen (6-9) von zumindest dem ersten und zweiten Zylinder umfasst, wobei das Verfahren umfasst:
- Bestimmen eines Einspritzmengenunterschieds zwischen zumindest dem ersten Zylinder und dem zweiten Zylinder nach einem der vorhergehenden Ansprüche, und
  - Einstellen von Ventilansteuerzeitspannen der Einspritzventile (6-9) in Abhängigkeit von dem bestimmten Einspritzmengenunterschied.
11. Vorrichtung zur Bestimmung eines Einspritzmengenunterschieds bei einem Verbrennungsmotor mit mehreren Zylindern, wobei der Einspritzmengenunterschied einen Unterschied zwischen einer ersten Einspritzmenge in einen ersten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) und einer zweiten Einspritzmenge in einen zweiten Zylinder der mehreren Zylinder (2-5) umfasst, wobei der Verbrennungsmotor (1) ein Druckrohr (14) zur Zuführung von Kraftstoff zu Einspritzventilen (6-9) von zumindest dem ersten und zweiten Zylinder umfasst, wobei die Vorrichtung (61) umfasst:
- mindestens einen Drucksensor (17), welcher in dem Druckrohr (14) zur Erfassung von Kraftstoffdruckwerten in dem Druckrohr (14) angeordnet ist, und
  - eine Verarbeitungseinheit (19), welche mit dem mindestens einen Drucksensor (17) gekoppelt ist und welche ausgestaltet ist,
- für zumindest den ersten Zylinder und den zweiten Zylinder jeweils:
- mehrere zeitlich aufeinanderfolgende erste

Druckwerte (23) vor einer Einspritzung (22) in den Zylinder mit dem mindestens einen Drucksensor (17) zu erfassen,  
mehrere zeitlich aufeinanderfolgende zweite Druckwerte (24) nach der Einspritzung (22) in den Zylinder mit dem mindestens einen Drucksensor (17) zu erfassen,  
die mehreren ersten Druckwerte (23) statistisch zu analysieren,  
die mehreren zweiten Druckwerte (24) statistisch zu analysieren, und  
einen Druckdifferenzwert (25) für den Zylinder auf der Grundlage der mehrerer

ersten Druckwerte (23) und der mehreren zweiten Druckwerte (24) zu bestimmen, wenn die mehreren ersten Druckwerte (23) und die mehreren zweiten Druckwerte (24) eine vorbestimmte statistische Eigenschaft erfüllen, und  
den Einspritzmengenunterschied in Abhängigkeit von dem Druckdifferenzwert (25) des ersten Zylinders und dem Druckdifferenzwert (25) des zweiten Zylinders zu bestimmen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Vorrichtung (61) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-10 ausgestaltet ist.

13. Fahrzeug mit einer Vorrichtung (61) nach Anspruch 11 oder 12.

35

40

45

50

55

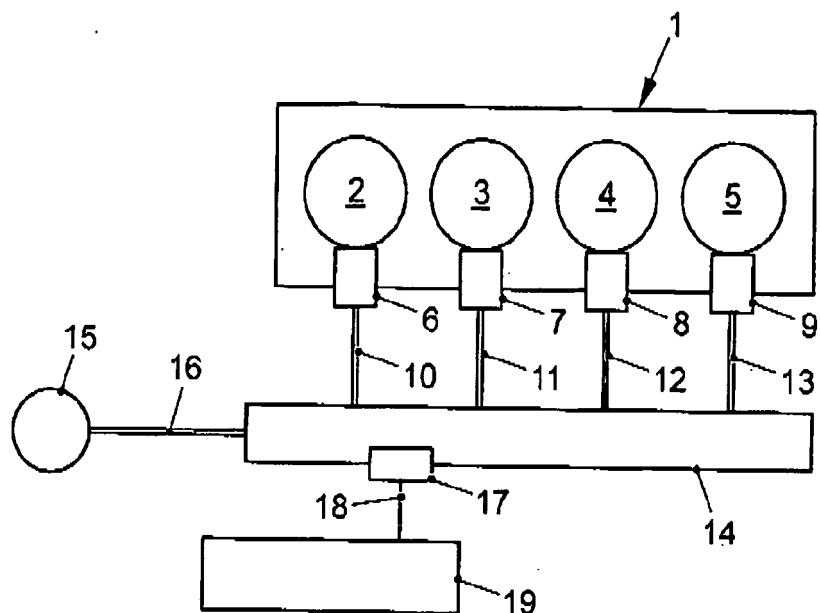


FIG. 1

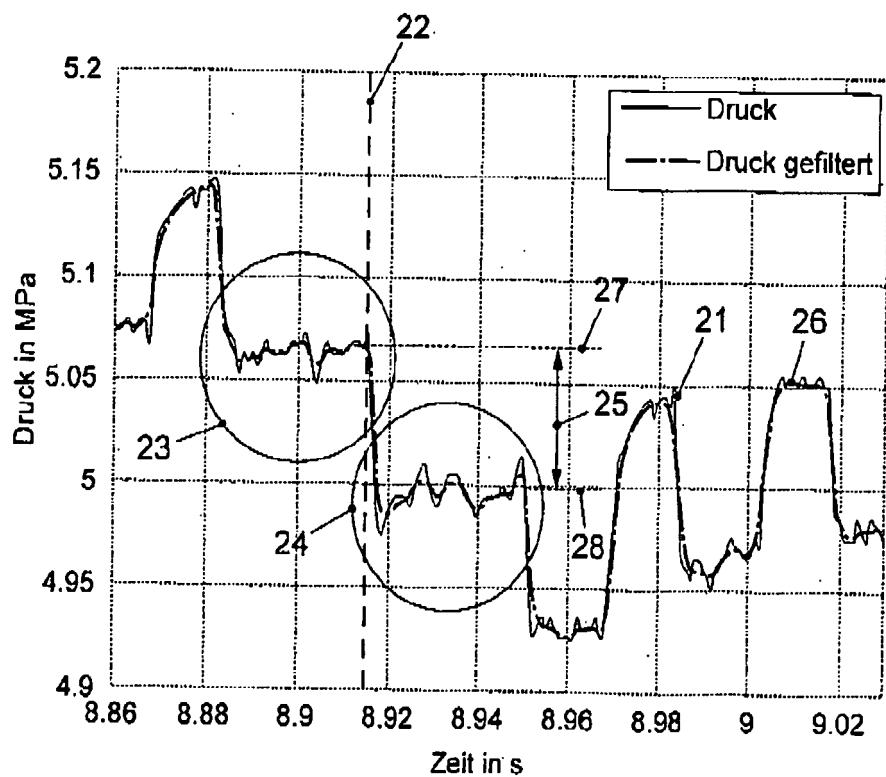


FIG. 2

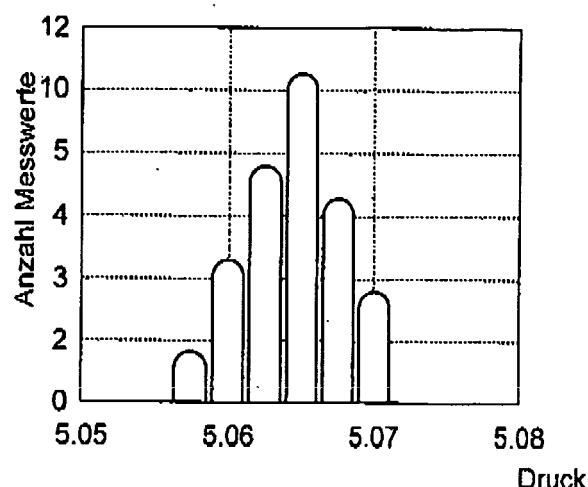


FIG. 3A

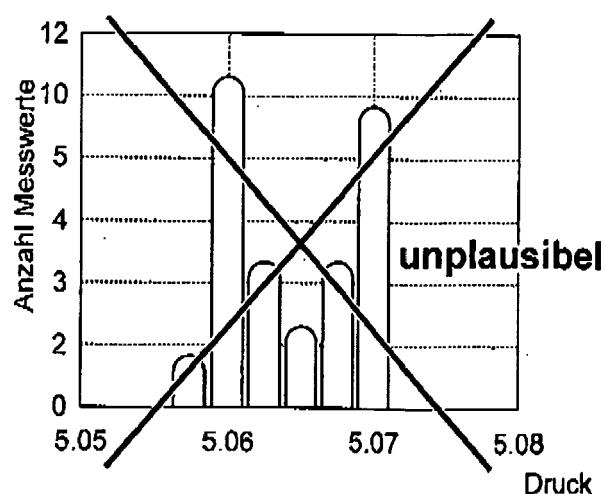


FIG. 3B

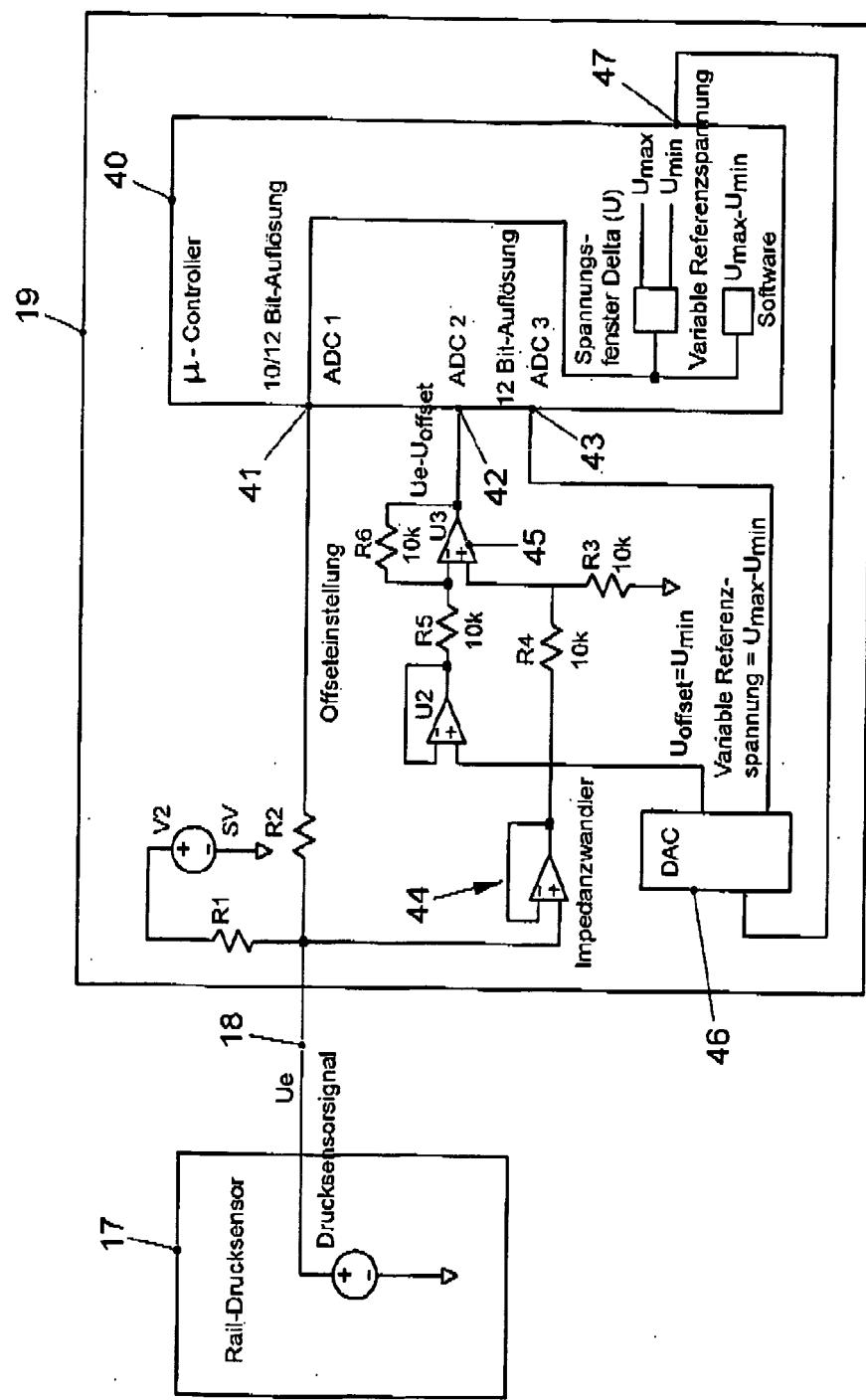


FIG. 4

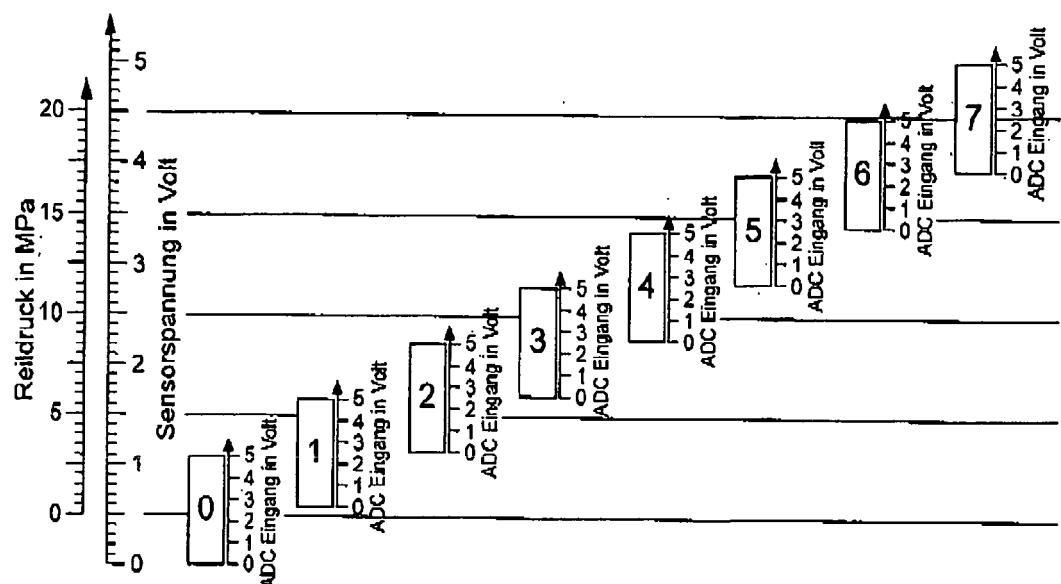


FIG. 5

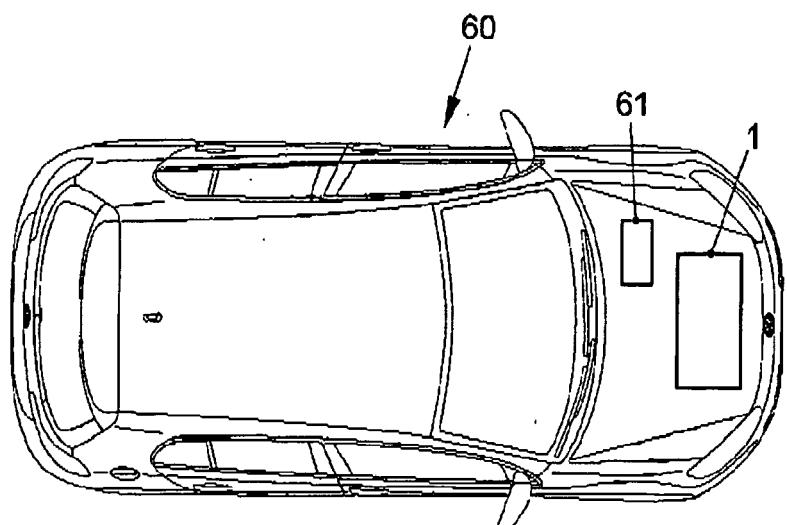


FIG. 6

**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**

- JP 62186034 A [0003]
- JP 06101550 A [0004]
- US 5746178 A [0004]