



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 056 519 A1** 2007.06.06

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 056 519.0**

(22) Anmeldetag: **28.11.2005**

(43) Offenlegungstag: **06.06.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01B 21/22** (2006.01)

**G01P 3/44** (2006.01)

**G01L 3/00** (2006.01)

**F02B 3/00** (2006.01)

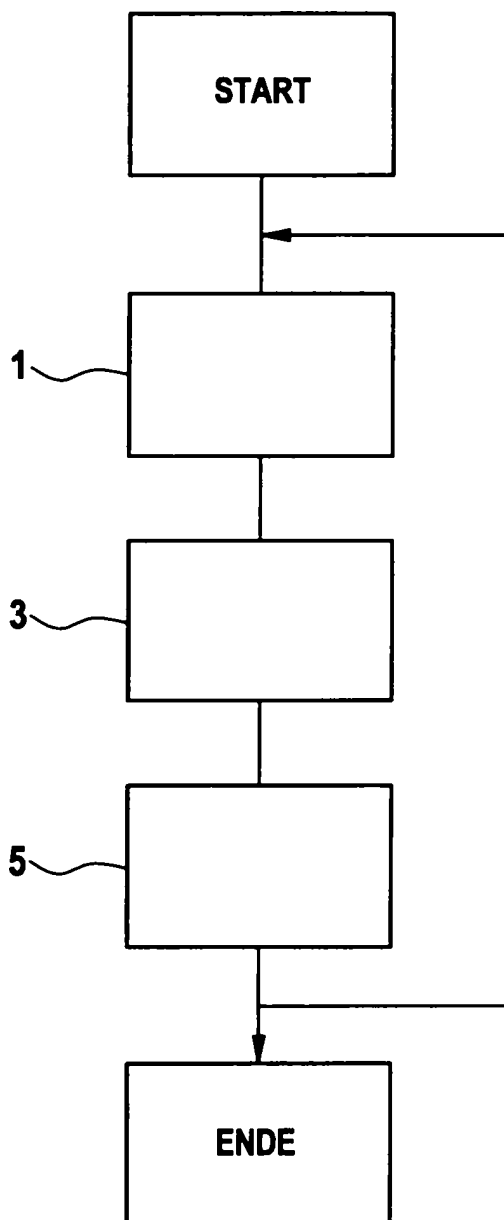
(71) Anmelder:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Schueler, Matthias, 71711 Steinheim, DE; Youssef, Mohamed, 71154 Nufringen, DE; Dautel, Vincent, 70176 Stuttgart, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Steuern der Brennkraftmaschine vorgeschlagen, welches auf der Basis des von einem Drehwinkelgeber zur Erfassung des Drehwinkels der Kurbelwelle erzeugten Signals für jeden Zylinder das erzeugte innere Moment berechnet, so dass eine schnelle und genaue Regelung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Moments  $M_{\text{eff}}$  erreicht werden kann.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Steuergerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine sowie eine Brennkraftmaschine nach den Oberbegriffen der nebengeordneten Patentansprüche.

**[0002]** Brennkraftmaschinen benutzen zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine in der Regel das von der Brennkraftmaschine an der Kurbelwelle abgegebene Drehmoment. Bei diesem Regelungskonzept ist die Führungsgröße ein Sollmoment. Dieses Sollmoment kann vom Fahrer durch eine bestimmte Stellung des Fahrpedals oder verschiedene Systeme des Kraftfahrzeugs, wie beispielsweise ein elektronisches Stabilitätsprogramm, eine Antischlupfregelung oder die Steuerung eines Automatikgetriebes, vorgegeben werden. Die Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine setzt das Sollmoment in entsprechende Stelleingriffe beispielsweise der Drosselklappe, des Zündwinkels, Einspritzausblendungen u.a. um.

**[0003]** Das von der Brennkraftmaschine abgegebene Moment wird bei diesen Brennkraftmaschinen nicht direkt gemessen, sondern beispielsweise über einen Luftmassenmesser und die Lambdasonde und entsprechende Modelle der Brennkraftmaschine berechnet. Diese Berechnung ist jedoch nur bei Otto-Motoren mit Saugrohreinspritzung ausreichend genau. Bei Otto-Motoren mit Benzin-Direkt-Einspritzung oder bei Diesel-Motoren besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der von der Brennkraftmaschine angesaugten Luftmasse und dem von der Brennkraftmaschine abgegebenen Drehmoment.

**[0004]** Bei Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkt-Einspritzung (BDE) bestehen im Schichtbetrieb ( $\lambda > 1$ ) und homogenem Magerbetrieb folgende, gegenüber einer Brennkraftmaschine mit Saugrohreinspritzung geänderte Randbedingungen: Die Luftmasse ist kein Maß für das von der Brennkraftmaschine abgegebene Drehmoment, da nur die eingespritzte Kraftstoffmenge momentenbestimmend ist.

**[0005]** Eine Messung der Abgaszusammensetzung mit einer stetigen Lambdasonde ist zu ungenau.

**[0006]** Die momentenbeeinflussenden Stellgrößen sind bei Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung zahlreicher. Insbesondere müssen der Einspritzbeginn, die Abgasrückführungsrate, der Lambdawert und die Stellung einer Drosselklappe berücksichtigt werden.

**[0007]** Infolgedessen ist die Berechnung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Moments  $M_{\text{eff}}$

auf der Basis der obengenannten gemessenen Einflussgrößen nur mit Hilfe zahlreicher Modellbildungen und einer aufwändigen Applikation dieser Funktionen in einem Steuergerät realisierbar. Trotzdem ist die Genauigkeit der derart durchgeführten Ermittlung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Drehmoments unbefriedigend, so dass sich beispielsweise in Zusammenarbeit mit einem Automatikgetriebe Fahrbarkeitsprobleme des Kraftfahrzeugs ergeben können. Außerdem können die Ungenauigkeiten bei der Ermittlung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Drehmoments zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch führen, da große Sicherheitsabstände bei der Applikation von Betriebsgrenzen für verschiedene Betriebsarten einzuhalten sind. Schließlich kann eine Überwachung der Brennkraftmaschine im Hinblick auf ein ungewollt hohes, von der Brennkraftmaschine abgegebenes Drehmoment kaum durchgeführt werden.

**[0008]** Aus der DE 197 49 434 ist ein Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine bekannt, bei welchem das von der Brennkraftmaschine abgegebene Drehmoment mit Hilfe eines Drucksensors, welcher den Druck im Brennraum eines Zylinders erfasst, und einem Drehwinkelsensor, welcher die Position der Kurbelwelle erfasst, ermittelt wird. Um das Drehmoment für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine gesondert zu erfassen, ist für jeden Zylinder ein eigener Drucksensor erforderlich. Wegen der für jeden Zylinder erforderlichen Drucksensoren ist die Durchführung dieses Verfahrens mit nennenswerten Kosten behaftet.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein vereinfachtes und trotzdem genau arbeitendes Verfahren zur Erfassung der Arbeitsweise und/oder des Drehmomentbeitrags jedes Zylinders einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer Brennkraftmaschine mit BDE oder einer nach dem Diesel-Verfahren arbeitenden Brennkraftmaschine, bereitzustellen.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren, bei welchem der Drehwinkel  $\theta(t)$  der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine mit einer hohen zeitlichen Auflösung erfasst wird, die zweite Ableitung nach der Zeit ( $d^2\theta/dt^2$ ) des Drehwinkels  $\theta(t)$  der Kurbelwelle in allen Arbeitstakten der Zylinder der Brennkraftmaschine ermittelt wird, und die zweite Ableitung nach der Zeit ( $d^2\theta/dt^2$ ) des Drehwinkels  $\theta(t)$  für jeden Arbeitstakt eines Zylinders der Brennkraftmaschine ausgewertet wird.

## Vorteile der Erfindung

**[0011]** Vorteilhaft an dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass auf Drucksensoren in den Brennräumen der Brennkraftmaschine vollständig verzichtet werden kann. Durch die zeitlich hochaufgelöste Mes-

sung des Drehwinkels der Kurbelwelle und die erfindungsgemäße Auswertung der gemessenen Daten können den Betriebszustand jedes Zylinders erfasst und eventuelle Fehlfunktionen, wie zum Beispiel Zündaussetzer, Drehmomentsprünge, Klingeln oder Klopfen und anderes mehr, dem oder den betroffenen Zylindern zugeordnet werden. In Folge dessen ist es möglich, durch eine geeignete Adaption der Ansteuerung der betroffenen Zylinder, beispielsweise in Form geänderter Einspritzmengen und/oder Zündzeitpunkte, kann die Fehlfunktion der betroffenen Zylinder in vielen Fällen ausgeglichen werden.

**[0012]** Zusätzlich ist es möglich beim Auftreten einer Fehlfunktion im Steuergerät der Brennkraftmaschine eine Fehlermeldung abzuspeichern. Des Weiteren ist es möglich, den Drehmomentbeitrag jedes Zylinders gesondert zu ermitteln.

**[0013]** Durch die Überwachung der Funktion jedes einzelnen Zylinders können die Regelung bzw. Steuerung der Brennkraftmaschine sehr schnell und mit sehr hoher Regelgüte erfolgen. Außerdem wird, wegen der Einfachheit des erfindungsgemäßen Verfahrens, die Applikation eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Steuergeräts an verschiedene Brennkraftmaschinen deutlich vereinfacht.

**[0014]** Außerdem ist vorgesehen, dass zur Steuerung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Drehmoments die Menge des einzuspritzenden Kraftstoffs, der Einspritzbeginn und/oder der Zündwinkel der Brennkraftmaschine beeinflusst werden. Selbstverständlich können auch noch andere Stellgrößen der Brennkraftmaschine, wie beispielsweise der Ladedruck, von der Steuerung der Brennkraftmaschine, gesteuert werden.

**[0015]** Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn jedem Arbeitstakt eines Zylinders ein Drehwinkelbereich der Kurbelwelle zugeordnet ist. Dadurch ist es auf einfache Weise möglich, den Drehzahlgradienten innerhalb eines Drehwinkelbereichs einem Zylinder zuzuordnen.

**[0016]** Es hat sich weiter als vorteilhaft erwiesen, wenn Lage und Größe des Drehwinkelbereichs relativ zur Stellung der Kurbelwelle in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine vom Steuergerät festgelegt werden. Dadurch wird erreicht, dass bei allen Betriebspunkten derjenige Drehwinkelbereich ausgewertet wird, innerhalb dessen der betroffene Zylinder einen Drehmomentbeitrag liefert, wenn er ordnungsgemäß funktioniert. Dieser Drehmomentbeitrag wird naturgemäß während des Arbeitstaktes des Zylinders geleistet. In anderen Worten: Der o. g. Drehwinkelbereich stellt einen Ausschnitt aus dem Arbeitstakt, der bei einer nach dem Viertakt-Verfahren arbeitenden Brennkraftmaschine 180° Kurbelwellenwinkel umfasst, dar.

**[0017]** Die Auswertung des zeitlichen Verlaufs der zweiten Ableitung nach der Zeit des Drehwinkels für jeden Arbeitstakt des Zylinders der Brennkraftmaschine kann selbstverständlich auf verschiedene Weisen erfolgen. Beispielsweise kann beim Auftreten einer sprunghaften Änderung der zweiten zeitlichen Ableitung des Drehwinkels innerhalb eines Arbeitstaktes auf eine Fehlfunktion des Zylinders, wie Klopfen oder Klingeln, geschlossen werden.

**[0018]** Andererseits ist es auch möglich festzustellen, ob und in welchem Umfang die Zylinder einer Brennkraftmaschine einen Drehmomentbeitrag leisten. Wenn zum Beispiel die Drehzahl der Brennkraftmaschine während eines Arbeitstaktes abnimmt, ist in Folge dessen die zweite zeitliche Ableitung des Drehwinkels während dieses Arbeitstaktes kleiner als null. Dies bedeutet nichts anderes als, dass der betreffende Zylinder keinen Drehmomentbeitrag leistet und möglicherweise eine Fehlfunktion vorliegt.

**[0019]** Des Weiteren ist es möglich, aus dem zeitlichen Verlauf der zweiten Ableitung nach der Zeit des Drehwinkels innerhalb eines Arbeitstaktes auf den induzierten Mitteldruck  $p_{mi}$  des betroffenen Zylinders zu schließen. Diese Information kann bei der Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine ausgewertet und genutzt werden. Der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der zweiten Ableitung nach der Zeit des Drehwinkels der Kurbelwelle und dem induzierten Mitteldruck beziehungsweise dem Drehmomentbeitrag, der auf diesen induzierten Mitteldruck zurückgeht, kann mit Hilfe eines Kennfeldes in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine ermittelt werden.

**[0020]** Aus den mit Hilfe der erfindungsgemäß gewonnenen Informationen über die Funktion der einzelnen Zylinder kann die Steuerung der Brennkraftmaschine insbesondere in Bezug auf den Einspritzbeginn, die Einspritzdauer, die Abgasrückführrate und/oder den Zündwinkel, entsprechend angepasst werden.

**[0021]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere zur Steuerung von nach dem Otto-Verfahren arbeitenden Brennkraftmaschinen, insbesondere mit Direkteinspritzung und/oder variablem Ventilhub, und zur Steuerung von nach dem Dieserverfahren arbeitenden Brennkraftmaschinen einsetzbar.

**[0022]** Die eingangs genannte Aufgabe wird auch bei einer Brennkraftmaschine, insbesondere nach dem Otto-Verfahren arbeitende Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung und/oder variablem Ventilhub oder nach dem Dieserverfahren arbeitende Brennkraftmaschine, mit mindestens einem Zylinder und mit einem Steuergerät zur Steuerung der Brennkraftmaschine dadurch gelöst, dass eine Vorrichtung zur zeitlich hoch aufgelösten Erfassung des Drehwinkels

der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine vorhanden ist, und dass das Steuergerät nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitet. Bei dieser Brennkraftmaschine kommen die zuvor genannten Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens voll zum Tragen.

**[0023]** Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar. Alle in der Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Zeichnung

**[0024]** Es zeigen:

**[0025]** [Fig. 1](#) ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0026]** [Fig. 2](#) den Verlauf der Drehzahl einer Brennkraftmaschine über mehrere Arbeitsspiele, und

**[0027]** [Fig. 3](#) den Zusammenhang zwischen Drehzahl, indiziertem Mitteldruck und zweiter zeitlicher Ableitung des Drehwinkels der Kurbelwelle im Vergleich.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

**[0028]** Das erfindungsgemäße Verfahren beginnt in einem Startblock. Daraufhin wird in einem ersten Schritt **1** der Drehwinkel der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine erfasst. Es versteht sich von selbst, dass dies mit einer ausreichend hohen Auflösung erfolgen muss, da letztendlich Änderungen der Drehzahl der Kurbelwelle innerhalb eines Drehwinkelbereichs von bspw.  $30^{\circ}$ – $60^{\circ}$  Kurbelwinkel ausgewertet werden. Eine Auflösung von  $1^{\circ}$  Kurbelwellenwinkel ist für viele Anwendungen ausreichend.

**[0029]** In einem zweiten Schritt **3** wird die zweite Ableitung nach der Zeit des Drehwinkels der Kurbelwelle in allen Arbeitstakten der Zylinder der Brennkraftmaschine ermittelt. Bei der üblichen Definition einer nach dem Viertaktverfahren arbeitenden Brennkraftmaschine wird einem Arbeitsspiel ein Kurbelwinkel von  $720^{\circ}$  zugeordnet. Dieser Winkel von  $720^{\circ}$  wird in vier Takte von jeweils  $180^{\circ}$  Kurbelwinkel unterteilt. Für das erfindungsgemäße Verfahren ist es jedoch nicht erforderlich, den ganzen Arbeitstakt über  $180^{\circ}$  zu erfassen. Es ist vielmehr möglich, nur einen Ausschnitt aus einem Arbeitstakt auszuwerten. Dieser Ausschnitt wird im Zusammenhang mit der Erfindung als Drehwinkelbereich bezeichnet. Es hat sich bei praktischen Versuchen als vorteilhaft erwiesen, wenn der Drehwinkelbereich etwa  $30^{\circ}$ – $70^{\circ}$  Kurbelwinkel in-

nerhalb des Arbeitstaktes umfasst wird. Dadurch wird die Datenmenge reduziert, ohne dass die Qualität der gewonnenen Informationen leidet.

**[0030]** Die Lage und die Größe dieses Fensters innerhalb des Arbeitstaktes werden erfindungsgemäß betriebspunktabhängig geändert.

**[0031]** In einem dritten Schritt **5** wird der Verlauf der zweiten zeitlichen Ableitung des Drehwinkels für jeden Arbeitstakt eines Zylinders der Brennkraftmaschine ausgewertet. Diese Auswertung kann auf viele verschiedene Arten und Weisen erfolgen. Beispielsweise kann ein Zündaussetzer diagnostiziert werden, wenn die zweite zeitliche Ableitung des Drehwinkels in dem ausgewerteten Drehwinkelbereich kleiner als null ist, weil die Drehzahl der Brennkraftmaschine abnimmt. In anderen Worten: Der betreffende Zylinder leistet keinen Drehmomentbeitrag in dem in Frage stehenden Arbeitstakt. Eine andere Möglichkeit zur Auswertung der zweiten zeitlichen Ableitung des Drehwinkels besteht darin, diese Größe mit Referenzgrößen zu vergleichen, die bei Prüfstandsversuchen an baugleichen Motoren ermittelt wurden.

**[0032]** Des Weiteren ist es auch möglich, durch Vergleich der innerhalb eines Arbeitsspiels ermittelten zweiten Ableitungen der Drehwinkel in den Arbeitstakten der verschiedenen Zylinder einer Brennkraftmaschine zu Aussagen über die Funktion der einzelnen Zylinder zu gelangen. Innerhalb eines Arbeitsspiels herrschen in allen Zylindern identische Betriebsbedingungen.

**[0033]** Wenn beispielsweise die zweiten zeitlichen Ableitungen aller Zylinder innerhalb eines Arbeitsspiels im Wesentlichen gleich sind und die zweite zeitliche Ableitung des Drehwinkels nur eines Zylinders signifikant von den Werten der anderen Zylinder abweicht, kann auf eine Fehlfunktion dieses einen Zylinders geschlossen werden. Beispielsweise kann auch durch abrupte Änderungen der zweiten zeitlichen Ableitung des Drehwinkels auf eine unzureichende Verbrennung oder Klopfvorgänge im Brennraum geschlossen werden.

**[0034]** Nach dem Abarbeiten des dritten Schrittes **5** beginnt das Verfahren von Neuem mit dem ersten Schritt **1**. Wenn die Brennkraftmaschine abgeschaltet wird, wird auch das erfindungsgemäße Verfahren beendet.

**[0035]** In [Fig. 3](#) ist die Drehzahl einer Brennkraftmaschine mit vier Zylindern über dem Kurbelwinkel aufgetragen. Dabei umfasst die X-Achse der [Fig. 2](#) ein Arbeitsspiel, entsprechend  $720^{\circ}$  Kurbelwinkel. Das Arbeitsspiel ist in [Fig. 2](#) durch einen Doppelpfeil mit dem Bezugszeichen **7** verdeutlicht.

**[0036]** Die Drehwinkelbereiche der Arbeitstakte der Zylinder 1–4 sind in [Fig. 2](#) mit  $AT_1$  bis  $AT_4$  bezeichnet. Bei dem Diagramm gemäß [Fig. 2](#) wird zunächst das Arbeitsspiel AS20 näher erläutert. Das Arbeitsspiel AS20 ist durch eine erste Linie **9** dargestellt.

**[0037]** Wenn man das Arbeitsspiel 20 betrachtet wird deutlich, dass durch die Drehmomentabgabe des Zylinders 4 beim Arbeitstakt  $AT_4$  des Zylinders 4 die Drehzahl der Brennkraftmaschine zunimmt. Am Anfang des Drehwinkelbereichs  $AT_4$  liegt sie bei etwa 1.360/min und hat am Ende des Drehwinkelbereichs  $AT_4$  etwa 1.385/min.

**[0038]** Bei dem darauf folgenden Drehwinkelbereich  $AT_1$  des Zylinders 1 nimmt die Drehzahl der Brennkraftmaschine Zylinders 1 geringfügig ab. Am Beginn des Drehwinkelbereichs  $AT_1$  beträgt die Drehzahl etwa 1.365/min, während sie am Ende des Drehwinkelbereichs  $AT_1$  auf etwa 1.356/min abgesunken ist. Dies bedeutet nichts anderes, als dass der Zylinder 1 keinen Drehmomentbeitrag leistet. Dies kann beispielsweise auf eine unzureichende Gemischbildung oder einen nicht vorhandenen Zündfunken oder anderes mehr zurückgeführt werden. In anderen Worten: Schon durch den Vergleich der Drehwinkelbereiche  $AT_4$  und  $AT_1$  innerhalb des Arbeitsspiels AS20 kann auf eine Fehlfunktion des Zylinders 1 geschlossen werden.

**[0039]** Bei den Zylindern 2 und 3 beziehungsweise den zugehörigen Drehwinkelbereichen  $AT_2$  und  $AT_3$  nimmt die Drehgeschwindigkeit der Kurbelwelle wieder zu. Daraus kann die Information gewonnen werden, dass die Zylinder 2 und 3 ordnungsgemäß arbeiten.

**[0040]** In der Darstellung gemäß [Fig. 2](#) sind verschiedene Arbeitsspiele übereinander aufgetragen. So ist oberhalb der ersten Linie **9** eine zweite Linie **11** aufgetragen, welche das Arbeitsspiel AS21 der Brennkraftmaschine darstellt. Die Linie **11** beginnt bei  $0^\circ$  Kurbelwellenwinkel, das heißt am Ursprung der X-Achse mit dem gleichen Wert, den die Linie **9** am Ende des Arbeitsspiels 20, nämlich bei  $720^\circ$  hat.

**[0041]** Wenn man nun wieder die Arbeitstakte  $AT_4$ ,  $AT_1$ ,  $AT_2$  und  $AT_3$  im Arbeitsspiel 21 betrachtet, wird deutlich, dass bei allen Arbeitstakten die Drehzahl der Kurbelwelle zunimmt. In anderen Worten: Während des Arbeitsspiels 21 funktioniert der Zylinder 1 wieder.

**[0042]** Von den Arbeitsspielen 22 bis 30 ist das Arbeitsspiel AS 26 durch das Bezugszeichen **13** für eine dritte Linie **13** in [Fig. 2](#) eingetragen. Bei dem Arbeitsspiel AS 26 fällt der vierte Zylinders dadurch auf, dass innerhalb des Drehwinkelbereichs  $AT_4$  die Drehzahl gewissen Schwankungen unterworfen ist und nicht monoton ansteigt. Daraus kann man auf eine

nicht optimale Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches schließen. Beim Arbeitsspiel AS 26 leistet der Zylinder 1 keinen nennenswerten Drehmomentbeitrag, was sich an der Verringerung der Drehgeschwindigkeit der Kurbelwelle in dem Drehwinkelbereich  $AT_1$  niederschlägt.

**[0043]** Die Zylinder 2 und 3 arbeiten auch im Arbeitsspiel 26 zufriedenstellend.

**[0044]** Aus dem Vergleich der Drehgeschwindigkeitsänderungen innerhalb der Drehwinkelbereiche  $AT_1$  bis  $AT_4$  während eines Arbeitsspiels, der anhand der Arbeitsspiele 20, 21 und 26 explizit erläutert wurde, wird deutlich, dass die Auswertung der Änderungen der Drehgeschwindigkeit während der Arbeitstakte wertvolle Hinweise auf die Funktion der einzelnen Zylinder gibt. Dabei ist an dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders vorteilhaft, dass lediglich die Signale eines ohnehin vorhandenen Drehwinkelsensors an der Kurbelwelle ausgewertet werden müssen.

**[0045]** In [Fig. 3](#) ist die Drehzahl  $n = d\theta/dt$  einer Brennkraftmaschine über 100 Arbeitsspiele aufgetragen. Die Drehzahl beginnt bei 1.100/min und steigt vom neunten Arbeitsspiel bis zum dreißigsten Arbeitsspiel auf 1.600/min. Danach bleibt die Drehzahl bis zum hundertsten Arbeitsspiel konstant.

**[0046]** In der [Fig. 3b](#) ist der zugehörige indizierte Mitteldruck  $p_{mi}$  der Zylinder 1 bis 4 durch die Linien **15**, **17**, **19**, und **21** dargestellt.

**[0047]** In der [Fig. 3c](#) sind vier Linien **23**, **25**, **27** und **29** aufgetragen. Dabei ist die Linie **23** dadurch gebildet, dass die Drehzahländerungen innerhalb des Drehwinkelbereichs  $AT_1$  über den Arbeitsspielen 0 bis 100 aufgetragen wurde.

**[0048]** Entsprechendes gilt für die Linien **25**, **27** und **29** und die Drehwinkelbereiche  $AT_2$  bis  $AT_4$ .

**[0049]** Die Linie **23**, welche dem Zylinder 1 zugeordnet ist, zeigt in der Beschleunigungsphase, d. h. innerhalb der Arbeitsspiele **10** bis **30**, Auffälligkeiten im Vergleich mit den Linien **25**, **27** und **29**. Diese Auffälligkeiten bestehen darin, dass der Zylinder nur in den Arbeitsspielen 10 bis 13, 21, 25 und 27 ordnungsgemäß funktioniert, während der Zylinder 1 in den übrigen Arbeitsspielen keinen nennenswerten Drehmomentbeitrag leistet.

**[0050]** Die [Fig. 3c](#) verdeutlicht somit, wie durch eine erfindungsgemäße Auswertung des Signals eines Drehwinkelsensors an der Kurbelwelle, Rückschlüsse auf die Funktion der einzelnen Zylinder einer Brennkraftmaschine gezogen werden können.

**[0051]** Durch den Vergleich der Linien **15**, **17**, **19**,

und **21** aus **Fig. 2b**) und der Linien **23, 25, 27** und **29** aus **Fig. 3c**) wird auch deutlich, dass zwischen dem indizierten Mitteldruck  $p_{mi}$  und den Drehzahländerungen während der Arbeitstakte ein sehr direkter Zusammenhang. Dies lässt sich insbesondere in dem Bereich der Arbeitsspiele 10–35 gut nachvollziehen. Durch diesen direkten Zusammenhang ist es möglich, gegebenenfalls mit Hilfe eines Kennfeldes, aus den Änderungen der Drehgeschwindigkeit der Kurbelwelle auf den indizierten Mitteldruck in der Brennkraftmaschine zu schließen. Über den indizierten Mitteldruck und die Stellung der Kurbelwelle kann der Momentenbeitrag des betreffenden Zylinders auf einfache und sehr genaue Weise ermittelt werden. Dadurch ist es mit Hilfe es erfindungsgemäßen Verfahrens auch möglich, nur durch eine geeignete Auswertung der Ausgangssignale des Drehwinkelsensors der Kurbelwelle den Drehmomentbeitrag zylinderindividuell zu bestimmen und somit das indizierte Motormoment der Brennkraftmaschine zu berechnen. Darüber hinaus ist es, wie bereits ausführlich erläutert, auch möglich, Fehlfunktionen einzelner Zylinder zu erkennen und auf der Basis der gewonnenen Informationen die Steuerung dieses Zylinders anzupassen, bis eine zufriedenstellende Funktion des Zylinders erreicht wurde.

### Patentansprüche

1. verfahren zur Erkennung des Betriebszustands der Zylinder einer Brennkraftmaschine, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- Erfassen des zeitlichen Verlaufs des Drehwinkels  $(\theta(t))$  der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine,
- Ermitteln der zweiten zeitlichen Ableitung  $(d^2\theta/dt^2)$  des Drehwinkels  $(\theta(t))$  der Kurbelwelle in allen Arbeitstakten der Zylinder ( $i$ , mit  $i = 1$  bis  $m$ ) der Brennkraftmaschine und
- Auswerten der zweiten zeitlichen Ableitung  $(d^2\theta/dt^2)$  des Drehwinkels  $(\theta(t))$  für jeden Arbeitstakt eines Zylinders ( $i$ ) der Brennkraftmaschine.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Arbeitstakt ( $AT_i$ ) eines Zylinders ( $i$ ) ein Drehwinkelbereich  $(\Delta\theta_i)$  der Kurbelwelle zugeordnet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage der Drehwinkelbereiche  $(\Delta\theta_i)$  relativ zur Stellung der Kurbelwelle in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine, insbesondere in Abhängigkeit von der Drehzahl und dem von der Brennkraftmaschine abgegebenen Moment, festgelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Drehwinkelbereiche  $(\Delta\theta_i)$  in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine, insbesondere in Abhängigkeit von der Drehzahl und/oder dem von der Brennkraft-

maschine abgegebenen Drehmoment, festgelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Auftreten mindestens einer sprunghaften Änderung der zweiten zeitlichen Ableitung  $(d^2\theta_j/dt^2)$ , mit  $j = 1$  bis  $m$ ) des Drehwinkels  $(\theta(t))$  innerhalb eines Arbeitstaktes ( $j$ ) auf eine Fehlfunktion des betroffenen Zylinders ( $j$ ) geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Auftreten von mindestens einer signifikanten Abweichungen der zweiten zeitlichen Ableitung  $(d^2\theta_j/dt^2)$ , mit  $j = 1$  bis  $m$ ) des Drehwinkels  $(\theta(t))$  eines Zylinders ( $j$ ) von den innerhalb des gleichen Arbeitsspiels ermittelten zweiten zeitlichen Ableitungen  $(d^2\theta_n/dt^2)$ , mit  $n = 1$  bis  $(j - 1)$ ,  $(j + 1)$  bis  $m$ ) der Drehwinkel  $(\theta(t))$  während der Arbeitstakte der übrigen Zylinder ( $n$ , mit  $n = 1$  bis  $(j - 1)$ ,  $(j + 1)$  bis  $m$ ) der Brennkraftmaschine auf eine Fehlfunktion des betroffenen Zylinders ( $j$ ) geschlossen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Arbeitsspiel bei einer nach dem Viertaktverfahren arbeitenden Brennkraftmaschine einem Kurbelwinkel von  $720^\circ$  entspricht.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das von einem Zylinder ( $j$ ) abgegebene Drehmoment in Abhängigkeit der zweiten zeitlichen Ableitung  $(2d\theta_j/dt^2)$ , mit  $j = 1$  bis  $m$ ) des Drehwinkels  $(\theta(t))$  eines Zylinders ( $j$ ) ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusammenhang zwischen dem von einem Zylinder ( $j$ ) abgegebenen Drehmoments und der zweiten zeitlichen Ableitung  $(d^2\theta_j/dt^2)$ , mit  $j = 1$  bis  $m$ ) des Drehwinkels  $(\theta(t))$  eines Zylinders ( $j$ ) in einem Kennfeld in Abhängigkeit des Betriebspunkts der Brennkraftmaschine ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung des von der Brennkraftmaschine abgegebenen Drehmoments ( $M_{eff}$ ) die Menge des einzuspritzenden Kraftstoffs, der Einspritzbeginn, die Abgasrückführtrate und/oder der Zündwinkel der Brennkraftmaschine beeinflusst werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Steuerung von nach dem Otto-Verfahren arbeitenden Brennkraftmaschinen, insbesondere mit Direkt-Einspritzung und/oder variablem Ventilhub, eingesetzt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Steuerung von nach dem Diesel-Verfahren arbeitenden Brennkraftmaschinen, insbesondere mit Direkt-Einspritzung, eingesetzt wird.

13. Steuergerät für eine Kraftstoffeinspritzanlage einer Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche geeignet ist.

14. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 geeignet ist.

15. Computerprogramm nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Computerprogramm auf einem Speichermedium, insbesondere einer CD-Rom, abspeicherbar ist.

16. Brennkraftmaschine, insbesondere nach dem Otto-Verfahren arbeitende Brennkraftmaschine mit Direkt-Einspritzung und/oder variablem Ventilhub oder nach dem Diesel-Prinzip arbeitende Brennkraftmaschine, mit mindestens einem Zylinder und mit einem Steuergerät (zur Steuerung der Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung zur zeitlich hoch aufgelösten Erfassung des Drehwinkels ( $\theta(t)$ ) der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine vorhanden ist, und dass das Steuergerät nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 arbeitet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

**Fig. 1**

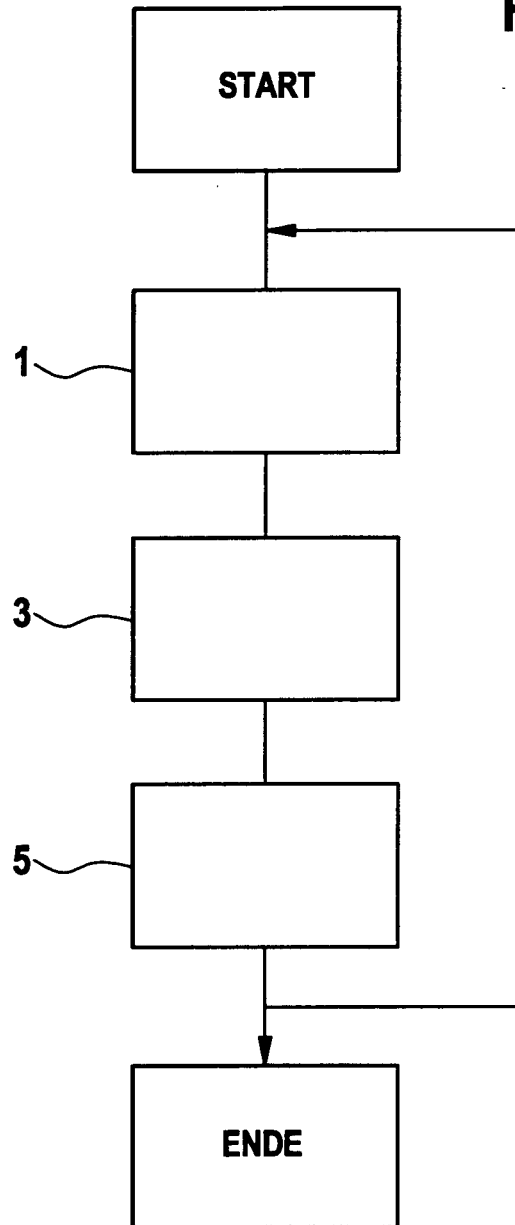




Fig. 2

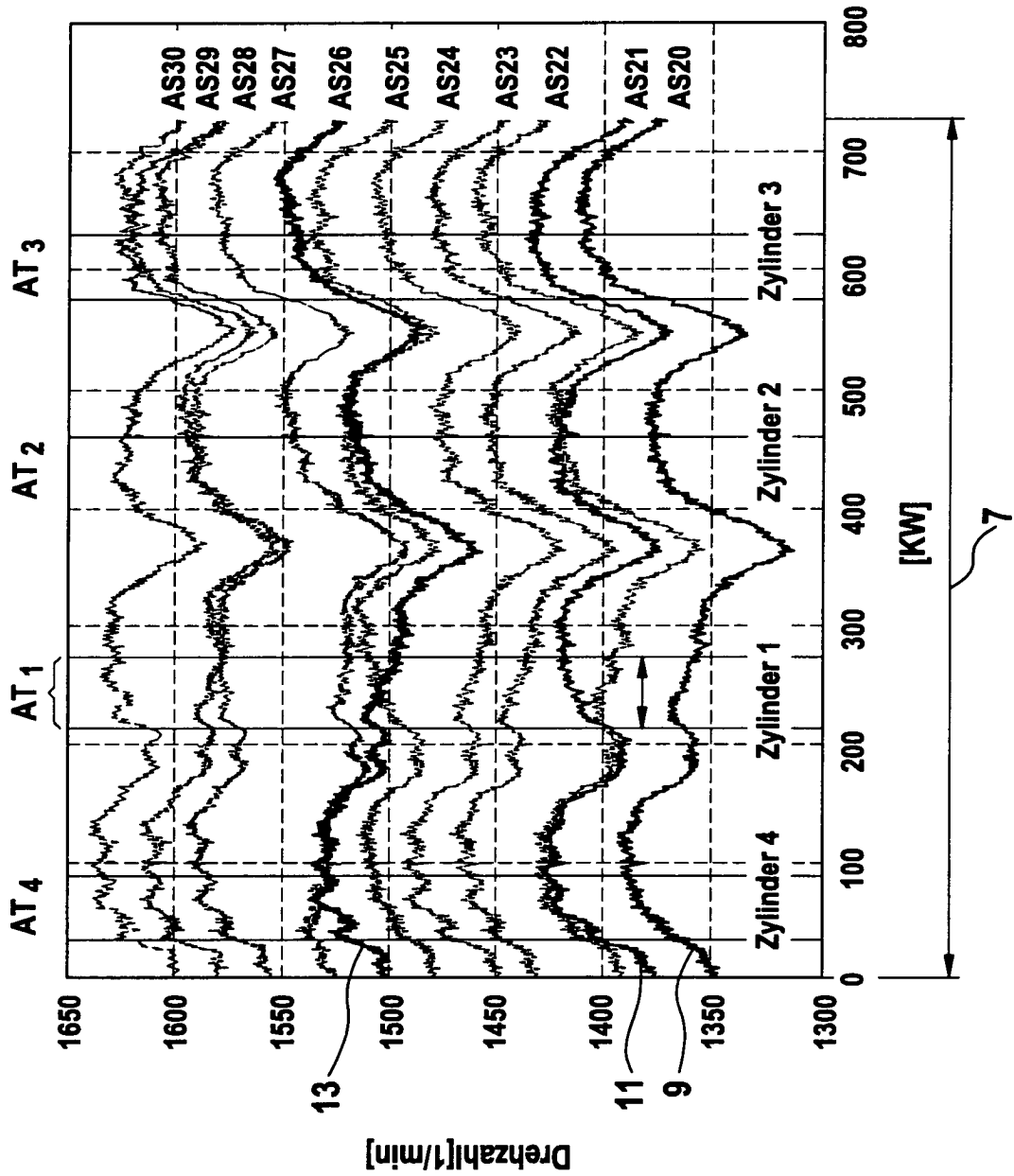


Fig. 3

