

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Juni 2020 (11.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/114775 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01M 15/04 (2006.01) F02D 41/14 (2006.01)
F02D 41/22 (2006.01) G01M 15/11 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/081941

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2019 (20.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 131 252.0
07. Dezember 2018 (07.12.2018) DE

(71) Anmelder: BAYERISCHE MOTOREN WERKE AK-
TIENGESSELLSCHAFT [DE/DE]; Petuelring 130, 80809
München (DE).

(72) Erfinder: GRASREINER, Sebastian; Halskestraße 30,
81379 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

(54) Title: METHOD FOR COMPUTER-ASSISTED DETERMINATION OF MULTIPLE ROTATIONAL IRREGULARITIES IN
AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR RECHNERGESTÜTZTEN BESTIMMUNG VON MEHRFACHEN
DREHUNGLEICHFÖRMIGKEITEN EINER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE

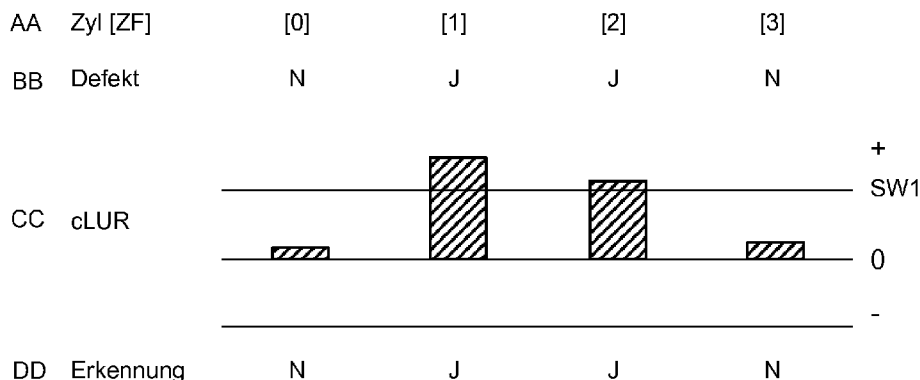


Fig. 3

AA Cyl [ZF]
BB Defect N Y Y N
CC cLUR SW1
DD Identification N Y Y N

(57) Abstract: The invention relates to a method for computer-assisted and absolute determination of multiple rotational irregularities in an internal combustion engine. The method according to the invention comprises a number of combustion chambers having moving pistons which are mechanically interconnected via a crankshaft in order to set the crankshaft in rotation, by means of uneven running values (LUR_{n-i}, LUR_n) which are determined relatively for each combustion chamber, continuously and successively during operation of the internal combustion engine,

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

in the logical sequence of the ignition of the combustion chambers, according to a predetermined calculation rule, from measurement variables of the combustion chamber most recently considered and measurement variables of the combustion chamber ignited immediately before. A particular uneven running value (LUR_{n-i} , LUR_n) represents a measurement of a rotational irregularity of the crankshaft resulting from the combustion chamber just ignited. The method according to the invention comprises, in a step a), determination (S1) of the uneven running value (LUR_n) of a currently ignited combustion chamber which, in the logical sequence of the ignition of the combustion chambers, is ignited immediately after a logically preceding combustion chamber, of which the uneven running value (LUR_{n-i}), ascertained for the preceding combustion chamber, has exceeded a predetermined threshold value (SW1) and indicates a fault in the preceding combustion chamber. In a step b), a compensating factor (f) is determined (S2), which represents the mutual influencing of the uneven running values (LUR_{n-i} , LUR_n) of the combustion chamber and the preceding combustion chamber. In step c), a compensated uneven running value ($cLUR_n$) of the combustion chamber is determined (S3) from the uneven running value (LUR_n) of the combustion chamber and the compensating factor (f). Lastly, in step d), the compensated uneven running value ($cLUR_n$) of the combustion chamber is compared (S4) with the predetermined threshold value (SW1) in order to determine whether or not the combustion chamber has a fault.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur rechnergestützten und absoluten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer Verbrennungskraftmaschine. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst eine Anzahl an Brennkammern mit sich bewegenden Kolben, die über eine Kurbelwelle mechanisch miteinander in Verbindung stehen, um die Kurbelwelle in Drehung zu versetzen, mit Hilfe von Laufunruhwerten (LUR_{n-1} , LUR_n), die während des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine kontinuierlich und aufeinander folgend in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern für jede Brennkammer gemäß einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift aus Messgrößen der gerade betrachteten Brennkammer und Messgrößen der unmittelbar zuvor zündenden Brennkammer relativ bestimmt werden. Ein jeweiliger Laufunruhwert (LUR_{n-1} , LUR_n) repräsentiert ein Maß für eine Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle infolge der gerade gezündeten Brennkammer. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst in einem Schritt a) das Bestimmen (S1) des Laufunruhwerts (LUR_n) einer aktuell gezündeten Brennkammer, die in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern unmittelbar nach einer logisch vorhergehenden Brennkammer gezündet wird, dessen für die vorhergehende Brennkammer ermittelter Laufunruhwert (LUR_{n-1}) einen vorgegebenen Schwellwert (SW1) überschritten hat und einen Fehler der vorhergehenden Brennkammer indiziert. In einem Schritt b) erfolgt das Bestimmen (S2) eines Kompensationsfaktors (f), der die Beeinflussung der Laufunruhwerte (LUR_{n-1} , LUR_n) der Brennkammer und der vorhergehenden Brennkammer untereinander abbildet. In Schritt c) erfolgt das Bestimmen (S3) eines kompensierten Laufunruhwerts ($cLUR_n$) der Brennkammer aus dem Laufunruhwert (LUR_n) der Brennkammer und dem Kompensationsfaktor (f). Schließlich erfolgt in Schritt d) der Vergleich (S4) des kompensierten Laufunruhwerts ($cLUR_n$) der Brennkammer mit dem vorgegebenen Schwellwert (SW1) zur Bestimmung, ob die Brennkammer einen Fehler aufweist oder nicht.

Verfahren zur rechnergestützten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer Verbrennungskraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur rechnergestützten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer Verbrennungskraftmaschine. Die Verbrennungskraftmaschine umfasst eine Anzahl an Brennkammern mit sich bewegenden Kolben, die über eine Kurbelwelle mechanisch miteinander in Verbindung, um die Kurbelwelle in Drehung zu versetzen. Die Bestimmung der Drehungleichförmigkeiten erfolgt mit Hilfe von Laufunruhwerten, die während des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine kontinuierlich und aufeinander folgend in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern für jede Brennkammer gemäß einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift aus Messgrößen der gerade betrachteten Brennkammer und Messgrößen der unmittelbar zuvor zündenden Brennkammer bestimmt werden, wobei ein jeweiliger Laufunruhwert ein Maß für eine Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle infolge der gerade gezündeten Brennkammer repräsentiert.

Bei Verbrennungskraftmaschinen wird chemische Energie in mechanische Arbeit umgewandelt. Hierzu wird in den Brennkammern eines jeweiligen Zylinders ein zündfähiges Gemisch aus einem Kraftstoff und Luft verbrannt und Verbrennungswärme erzeugt. Die Wärmeausdehnung des so entstehenden Heißgases wird genutzt, um den Kolben zu bewegen. Verbrennungskraftmaschinen, die dieses Prinzip der inneren Verbrennung nutzen, sind Otto- und Dieselmotoren. Dieses Prinzip findet analog bei Wankelmotoren Anwendung.

Eine Verbrennungskraftmaschine weist somit einen Zyklus auf, während dem ein Kraftstoff-Luft-Gemisch (im Falle eines Ottomotors) bzw. Luft (im Falle eines Dieselmotors) in der jeweiligen Brennkammer verdichtet wird. Dieser Zyklus ist die notwendige Vorbereitung der Verbrennungspartner für die spätere Entflammung. Ist die Kompression, beispielsweise durch mechanische Defekte der Verbrennungskraftmaschine, gestört, so kann keine ordnungsgemäße Verbrennung und damit keine gleichmäßige Drehmomenterzeugung stattfinden.

Eine Überprüfung, ob eine gleichmäßige Drehmomenterzeugung stattfindet, erfolgt mit Hilfe von Laufunruhwerten, die ein Maß für eine Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle

in Folge unterschiedlicher Drehmomenterzeugung der jeweiligen Brennkammern darstellen. Die typische Ermittlung der Laufunruhwerte basiert auf einer Drehzahlermittlung der Kurbelwelle mittels einer Geberrad-Messung. Ein Geberrad, das drehfest mechanisch mit der Kurbelwelle verbunden ist, ist hierzu in geometrische Segmente unterteilt, um jeder Brennkammer des Verbrennungsmotors einen „Drehmomenten“-Anteil ihrer Verbrennung zuzuordnen. Einer jeweiligen Brennkammer ist dabei ein bestimmtes geometrisches Segment als sog. Mess-Segment zugeordnet, das von einer Sensorik erfasst wird, wenn die betreffende Brennkammer ein Drehmoment erzeugt.

Im Rahmen des Erfassens jeweiliger geometrischer Segmente erfolgt für sämtliche Brennkammern über das Geberrad eine Ermittlung jeweiliger Segmentzeiten, wobei aus den Segmentzeiten über einen Vergleich der Segmentzeiten der Brennkammern untereinander die Laufunruhe ermittelt werden kann. Die Segmentzeit ist dabei diejenige Zeit, die ein einer Brennkammer zugeordnetes geometrisches Segment benötigt, um sich an dem Sensor vorbeizubewegen. Da in einer gegebenen Berechnungsvorschrift eine relative Abhängigkeit zwischen den Segmentzeiten zweier logisch unmittelbar hintereinander zündender Brennkammern besteht, ergibt sich eine Beeinflussung der Laufunruhwerte der logisch unmittelbar hintereinander zündenden Brennkammern. Das Verfahren der Laufunruhebestimmung ermöglicht es somit, zuverlässig einfache Fehler, welche singulär durch eine einzelne Brennkammer hervorgerufen sind, zu bestimmen. Mehrfache Drehungleichförmigkeiten können aufgrund der wechselweisen Beeinflussung der Laufunruhwerte untereinander jedoch nicht robust detektiert werden.

Hieraus ergibt sich das Problem, dass mehrfache Drehungleichförmigkeiten, d.h. bei mehreren Zylindern gleichzeitig auftretende Fehler, welche eine von einem Sollwert abweichende Drehmomenterzeugung mittels Geberradermittelter Laufunruhe nach sich ziehen, nur schwer auffindbar sind, wenn entsprechende Zylinder nacheinander feuern. Hierdurch können Fehler entweder nicht einwandfrei lokalisiert werden, oder es sind aufwändige, zum Teil auch kostenintensive und iterative Fehlerbehebungsversuche erforderlich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das die Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer Verbrennungskraftmaschine auf einfache und zuverlässigere Weise ermöglicht.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Es wird ein rechnergestütztes Verfahren zur Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer gattungsgemäßen Verbrennungskraftmaschine, die eine Anzahl an Brennkammern mit sich bewegenden Kolben umfasst, die über eine Kurbelwelle mechanisch miteinander in Verbindung stehen, um die Kurbelwelle in Drehung zu versetzen, vorgeschlagen. Die rechnergestützte Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten erfolgt mit Hilfe von Laufunruhwerten, die während des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine kontinuierlich aufeinander folgend in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern für jede Brennkammer gemäß einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift aus Messgrößen der gerade betrachteten Brennkammer und Messgrößen der unmittelbar zuvor zündenden Brennkammer bestimmt werden. Dabei repräsentiert ein jeweiliger Laufunruhwert ein Maß für eine Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle in Folge der gerade gezündeten Brennkammer.

Das Verfahren umfasst den Schritt a) des Bestimmens des Laufunruhwerts einer aktuell gezündeten Brennkammer, die in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern unmittelbar nach einer logisch vorhergehenden Brennkammer gezündet wird, dessen für die vorhergehende Brennkammer ermittelter Laufunruhwert einen vorgegebenen Schwellwert überschritten hat, wobei das Überschreiten des Schwellwerts einen Fehler der vorhergehenden Brennkammer indiziert. In einem Schritt b) erfolgt das Bestimmen eines Kompensationsfaktors, der die Beeinflussung der Laufunruhwerte der aktuell gezündeten Brennkammer und der vorhergehenden Brennkammer untereinander abbildet. In Schritt c) erfolgt das Bestimmen eines kompensierten Laufunruhwerts der aktuell gezündeten Brennkammer aus dem Laufunruhwert der aktuell gezündeten Brennkammer und dem Kompensationsfaktor mittels einer Offsetaddition. Schließlich erfolgt in Schritt d) ein Vergleich des kompensierten Laufunruhwerts der aktuell gezündeten Brennkammer mit dem vorgegebenen Schwellwert zur Bestimmung, ob die aktuell gezündete Brennkammer einen Fehler aufweist oder nicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf einer rechnerischen Kompensation der voneinander abhängigen Laufunruhwerte, um die Beeinflussung der Laufunruhwerte untereinander herausrechnen zu können. Dies bedeutet, der Einfluss einer unruhig laufenden Brennkammer wird bei der nächsten zündenden Brennkammer herausgerechnet, so dass dann für alle Brennkammern nur die jeweils eigene Laufunruhe erkennbar wird. Dies ermöglicht eine robuste Diagnose von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten, insbesondere von Brennkammern, die unmittelbar logisch hintereinander zünden und die einen Fehler aufweisen. Hierdurch können Reparaturen der Verbrennungskraftmaschine beschleunigt werden, da mehrfache Drehungleichförmigkeiten der Verbrennungskraftmaschine ohne weiteres sofort lokalisierbar sind. Darüber hinaus wird eine Validierung von Reparaturen vereinfacht. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass weniger Gewährleistungskosten im Service entstehen. Ferner treten weniger Wiederholreparaturen auf. Ein weiterer Vorteil ist, dass Fahrzeugausfallzeiten kürzer sind.

Eine zweckmäßige Ausgestaltung sieht vor, dass ein jeweiliger Laufunruhwert aus gemessenen Segmentzeiten der aktuell gezündeten Brennkammer und der logisch vorhergehend gezündeten Brennkammer mittels eines Geberrades bestimmt wird, das zur Bestimmung einer Kurbelwellendrehzahl drehfest mit der Kurbelwelle verbunden ist. Dabei ist eine jeweilige Segmentzeit die Zeit, die das Geberrad für die Drehung eines vorgegebenen Winkelsegments, das einer jeweiligen Brennkammer zugeordnet ist, benötigt. Die jeweiligen Segmentzeiten werden in der vorgegebenen Berechnungsvorschrift zur unmittelbaren Bestimmung eines Laufunruhwertes der aktuell gezündeten Brennkammer (in dieser Beschreibung auch als „gemessene Brennkammer“ bezeichnet) verarbeitet.

Der Kompensationsfaktor ist zweckmäßigerweise ein proportionaler Faktor, der sich aus dem Verhältnis der Segmentzeit der fehlerhaften Brennkammer zu der Segmentzeit derselben, nicht fehlerhaften Brennkammer, theoretisch ergibt. Da der Kompensationsfaktor für eine gerade betrachtete Brennkammer nicht aus den beiden genannten Segmentzeiten messtechnisch ermittelt werden kann, da die Brennkammer entweder einen Fehler aufweist oder auch nicht, erfolgt die Ermittlung des Kompensationsfaktors auf indirekte Weise.

Zweckmäßigerweise wird der Kompensationsfaktor ermittelt aus einer rechnerisch ermittelten Segmentzeit der angenommenen, nicht fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer

und einem Laufunruhe-Unterschiedswert. Der Laufunruhe-Unterschiedswert ergibt sich aus der Differenz des gemessenen Laufunruhwerts der angenommenen, nicht fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer und einem Laufunruhwert der angenommenen, fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer, d.h. mit anderen Worten durch die Beeinflussung durch die fehlerhafte unmittelbar zuvor zündende Brennkammer.

Sämtliche angegebenen Werte bzw. Parameter können messtechnisch bzw. rechnerisch unmittelbar während des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine ermittelt werden. Die Ermittlung des Kompensationsfaktors kann somit zur Laufzeit des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine erfolgen.

Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn zur Bestimmung des kompensierten Laufunruhwerts aus dem Kompensationsfaktor und dem zuvor für die vorhergehende Brennkammer ermittelten Laufunruhe-Unterschiedswert ein Laufunruhe-Unterschiedswert für die (aktuell gezündete) Brennkammer ermittelt wird, wobei der errechnete Laufunruhe-Unterschiedswert als Offset und der zuletzt gemessene Laufunruhwert addiert werden. Im Ergebnis ergibt sich der kompensierte Laufunruhwert, wie wenn die unmittelbar vorhergehend gezündete Brennkammer keinerlei Fehler aufweisen würde.

Der Kompensationsfaktor wird für jedes Paar an Brennkammern, die in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern unmittelbar aufeinander folgen, neu berechnet. Hierdurch ist es möglich, für jede Brennkammer einen kompensierten Laufunruhwert zu ermitteln.

Es ist weiterhin zweckmäßig, den Kompensationsfaktor, ebenso wie die Laufunruhwerte, zur Laufzeit des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine kontinuierlich zu bestimmen. Auf diese Weise ist es möglich, in Echtzeit mehrfache Drehungleichförmigkeiten der Verbrennungskraftmaschine zu ermitteln.

Es wird ferner ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, das direkt in den internen Speicher eines digitalen Rechners geladen werden kann und Softwarecodeabschnitte umfasst, mit denen die Schritte des hierin beschriebenen Verfahrens ausgeführt werden, wenn das Produkt auf dem Rechner läuft. Der Rechner kann beispielsweise eine Steuer- und Recheneinheit des Fahrzeugs sein. Der Rechner kann auch eine fahrzeugexterne

Recheneinheit, insbesondere ein Motortester, sein. Das Computerprogrammprodukt kann auf einem tragbaren Datenträger, z.B. einer DVD, einer CD-ROM oder einem USB-Speicherstick, verkörpert sein. Ebenso kann das Computerprogrammprodukt als ein über ein drahtloses oder leitungsgebundenes Netzwerk ladbares Signal vorliegen.

Die Erfindung wird nachfolgend näher anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung von nicht kompensierten Laufunruhwerten einer beispielhaft vier Brennkammern aufweisenden Verbrennungskraftmaschine, wobei einer der Zylinder eine Drehungleichförmigkeit aufweist;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung von nicht kompensierten Laufunruhwerten der vier Brennkammern aufweisenden Verbrennungskraftmaschine, wobei zwei Brennkammern, die in einer logischen Zündreihenfolge unmittelbar hintereinander gezündet werden, eine Drehungleichförmigkeit aufweisen;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung von erfindungsgemäß kompensierten Laufunruhwerten der vier Brennkammern aufweisenden Verbrennungskraftmaschine, wobei zwei Brennkammern, die in einer logischen Zündreihenfolge unmittelbar hintereinander gezündet werden, eine Drehungleichförmigkeit aufweisen; und
- Fig. 4 ein Ablaufdiagramm, das das Vorgehen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur rechnergestützten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten illustriert.

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Ablaufplan des erfindungsgemäßen Verfahrens zur rechnergestützten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten von zwei in logischer Reihenfolge des Zündens unmittelbar aufeinanderfolgender Brennkammern einer Verbrennungskraftmaschine. Das Verfahren kann unabhängig von der Anzahl der Brennkammern, nachfolgend auch Zylinder genannt, der Verbrennungskraftmaschine durchgeführt werden. Die Anzahl an Zylindern kann beispielsweise drei, vier, fünf, sechs, acht, zehn oder zwölf betragen. Das Verfahren kann bei Ottomotoren oder bei Dieselmotoren zum

Einsatz kommen. Das Verfahren könnte auch in einem Wankelmotor zur Anwendung gelangen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine Prüfung, ob zwei in logischer Reihenfolge unmittelbar hintereinander zündende Zylinder einen Drehmomentbeitrag erzeugen, der von einem erwarteten Drehmomentbeitrag abweicht. Dies könnte beispielsweise aufgrund von einer nicht ordnungsgemäßen Verbrennung, z.B. aufgrund einer späteren Entflammung eines Kraftstoff-Luft-Gemischs der Fall sein. Bei gestörter Kompression kann keine ordnungsgemäße Verbrennung und damit keine gleichmäßige Drehmomenterzeugung durch die Verbrennungskraftmaschine stattfinden. Drehungleichförmigkeiten können auch durch mechanische Defekte hervorgerufen sein, beispielsweise bei einer fehlerhaften Installation einer Zylinderkopfdichtung, Defekten an Kolbenringen oder einer fehlerhaften Installation von Einlass- oder Auslassventilen während der Produktion der Verbrennungskraftmaschine. Die Folgen derartiger Fehler können aufgrund der unsteten Kompression bzw. Verbrennung eine unruhige Motordrehzahl, ein lautes Motorgeräusch, verringerte Leistungsabgabe und Fehlzündungen sein.

Während die Bestimmung einer Drehungleichförmigkeit aufgrund eines einzelnen fehlerhaften Zylinders im Stand der Technik zuverlässig gelöst ist, ermöglicht es das vorliegende Verfahren, derartige Fehler robust aufzufinden, bei denen mehrfache Drehungleichförmigkeiten von Zylindern, die in logischer Reihenfolge des Zündens unmittelbar aufeinander folgen, auftreten. Das Verfahren kann beispielsweise bei der Endmontage der Verbrennungskraftmaschine, aber auch im Rahmen einer Wartung in der Werkstatt und sogar im regulären Fahrbetrieb durchgeführt werden.

Die rechnergestützte Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten der Verbrennungskraftmaschine basiert auf der Erkennung von Drehzahlschwankungen (sog. Engine Speed Roughness) im Falle eines ausbleibenden oder reduzierten Verbrennungsmoments, wobei die Drehzahlschwankungen z.B. eine Folge von Kompressions- oder Füllungsabweichungen sind.

In der nachfolgenden Beschreibung wird beispielhaft von einem 4-Zylinder-Verbrennungsmotor als Verbrennungskraftmaschine ausgegangen, dessen Zylinder in einer logischen

Reihenfolge nacheinander gezündet werden, um eine Kurbelwelle des Verbrennungsmotors, die mit sich hin- und her bewegenden Kolben in den Zylindern in Verbindung steht, in Drehung zu versetzen.

In einem ersten Schritt S1 des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt während des Drehens der Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine das Erfassen von Laufunruhwerten LUR der Anzahl an Zylindern. Die Erfassung der Laufunruhwerte erfolgt dabei in der logischen Reihenfolge des Zündens der Zylinder (sog. Zündfolge ZF), welche in den Figuren 1 bis 3 jeweils in der ersten Zeile mit Zyl[ZF] angegeben ist, wobei ZF für die Zündfolge 0, 1, 2 oder 3 des beispielhaft angenommenen 4-Zylinder-Verbrennungsmotors steht. Die Laufunruhwerte LUR werden in bekannter Weise durch ein Steuergerät der Verbrennungskraftmaschine, der sog. Motorsteuerung, zur Auswertung der Drehungleichförmigkeit zwischen den einzelnen Zylindern Zyl erfasst. Die Laufunruhwerte LUR werden im vorliegenden Verfahren genutzt.

Eine robuste Erfassung der Laufunruhe erfolgt zumeist im quasistationären Betrieb, d.h. in einem Betrieb, in dem keine oder nur minimale Beschleunigung oder Verzögerung der Kurbelwelle angefordert wird. Die Erfassung der Laufunruhwerte LUR erfolgt wie nachfolgend beschrieben.

Die Erfassung der Laufunruhwerte LUR erfolgt beispielsweise gemäß der Formel

$$LUR_n = \frac{t_n - t_{n-1} - t_c}{t_n^3}, \quad (1)$$

die darauf basiert, dass durch einen Fehler eines Zylinders, z.B. durch einen Kompressionsverlust eine Drehzahlschwankung hervorgerufen wird, die proportional zur Veränderung einer Winkelbeschleunigung ist. In Formel (1) bezeichnen t_n und t_{n-1} sog. Segmentzeiten eines aktuell gezündeten Zylinders n sowie des unmittelbar logisch zuvor gezündeten Zylinders $n-1$. Der Index n bezeichnet somit die Nummer der logischen Zündfolge ZF. In Formel (1) ist t_c eine konstante Zeit, welche für eine optionale Kalibration genutzt wird. Der Laufunruhwert LUR_n des aktuell gezündeten (oder gemessenen) Zylinders korreliert damit eine aktuelle Segmentzeit t_n des aktuell gezündeten Zylinders mit der Segmentzeit

t_{n-1} des vorhergehend gezündeten Zylinders $n-1$. Somit können mittels der Laufunruhwerte LUR Relativanstiege der Zeitmessungen erfasst werden. Weist die Verbrennungskraftmaschine keine Fehler auf, so sind die Unterschiede zwischen den Winkelbeschleunigungen der einzelnen Zylinder nahezu 0. Hieraus ergibt sich – abhängig von der gewählten Kompensationszeit – ein Laufunruhwert LUR von etwa 0, d.h. $LUR \approx 0$.

Liegt demgegenüber z.B. bei dem Zylinder mit der Zündfolge $ZF = n-1$ ein Fehler, z.B. ein Kompressionsverlust, vor, so verlängert sich dessen Segmentzeit t_{n-1} . Dies macht sich in einem Anstieg des Laufunruhwert LUR_{n-1} bemerkbar, d.h. $LUR_{n-1} \gg 0$. Übersteigt der Laufunruhwert LUR_{n-1} einen vorgegebenen Schwellwert $SW1$ (siehe Figuren 1 bis 3), indiziert dies das Vorliegen eines Fehlers, z.B. einen Kompressionsverlust und dergleichen. Der vorgegebene Schwellwert $SW1$ kann z.B. vorab durch Versuche oder eine numerische Bestimmung ermittelt worden sein. Da die Segmentzeit t_{n-1} auch in die Berechnung des logisch darauffolgenden Zylinders ($ZF = n$) einfließt, wird dessen Laufunruhwert LUR_n kleiner als 0, d.h. $LUR_n < 0$. Allerdings kann der absolute Laufunruhwert LUR_n des logisch darauffolgenden Zylinders ($ZF = n$) nicht für eine Aussage über den Zustand des Zylinders n verwendet werden.

Dies wird anhand der Figuren 1 und 2 nochmals veranschaulicht. Wie oben ausgeführt, ergibt sich aufgrund der Bestimmung der Laufunruhwerte LUR gemäß Formel (1), dass der Zylinder, der auf einen fehlerhaften Zylinder in der logischen Reihenfolge unmittelbar danach zündet, einen wesentlich kleineren, insbesondere einen deutlich negativen Laufunruhwert, aufweist. Dies ist eine Folge der gegenseitigen Beeinflussung der Laufunruhwerte zweier in logischer Reihenfolge unmittelbar aufeinanderfolgend zündender Zylinder gemäß Formel (1).

Dies kann beispielsweise in der Darstellung gemäß Fig. 1 erkannt werden. In Fig. 1 sind nicht kompensierte Laufunruhwerte LUR für den beispielhaft angenommenen 4-Zylindermotor in der logischen Zündreihenfolge $Zyl[ZF]$ dargestellt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass der logisch zündende Zylinder [1] einen Defekt aufweist (Defekt = „J“), während die anderen Zylinder der Zündfolge $ZF = 0, 2, 3$ keinen Defekt (Defekt = „N“) aufweisen. Die Berechnung der Laufunruhwerte LUR erfolgt gemäß Formel (1), so dass aufgrund der größeren Segmentzeit des logischen Zylinders [1] sich ein deutlich erhöhter

Laufunruhwert $LUR[1]$ ergibt, der den vorgegebenen Schwellwert $SW1$ übersteigt. Aufgrund der größeren Segmentzeit t_1 für den logisch zündenden Zylinder [1] ergibt sich ein deutlich negativer Laufunruhwert $LUR[2]$ für den unmittelbar darauf zündenden Zylinder [2]. Erst der sich daran anschließende zündende Zylinder [3] weist dann wiederum einen stabilen Laufunruhwert $LUR[3]$ nahe 0 auf.

Aufgrund der Kenntnis der Bestimmung der Laufunruhwerte LUR ist ohne weiteres rechnergestützt bestimmbar, dass der logisch zündende Zylinder [1] einen Fehler aufweist.

Fig. 2 zeigt den Fall, in dem sowohl der logisch zündende Zylinder [1] und der unmittelbar darauf zündende logische Zylinder [2] einen Defekt (Defekt = „J“) aufweisen. Da nunmehr auch der logisch zündende Zylinder [2] eine vergrößerte Segmentzeit t_2 aufweist, ergibt sich ein gegenüber dem in Fig. 1 gezeigten Fall erhöhter Laufunruhwert $LUR[2]$, der lediglich beispielhaft nahezu 0 gewählt ist. Eine eindeutige Erkennung des Fehlers des logisch zündenden Zylinders [2] ist daher nicht möglich, da der Absolutwert des Laufunruhwerts $LUR[2]$ des Zylinders der Zündfolge [2] nicht aussagefähig ist, da $LUR[2] \approx 0$ auf keinen Defekt hindeutet.

Dieses aus dem Stand der Technik soweit bekannte Vorgehen erlaubt daher lediglich die sichere Feststellung einer Drehungleichförmigkeit, die von einem einzelnen fehlerhaften Zylinder der Anzahl an Zylindern der Verbrennungskraftmaschine verursacht ist. Das geschilderte Problem geht auf den relativen Vergleichscharakter der Detektionsmethode zurück und soll mit obliegendem Verfahren in Richtung einer absoluten Auswertung einzelner Zylinder gelöst werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren erweitert dieses Vorgehen um eine Kompensation, um auch für den Zylinder, der in der logischen Zündreihenfolge auf einen fehlerhaften Zylinder folgt, eine Aussage über seinen Zustand treffen zu können.

In dem ersten Schritt $S1$ wird als aktuell gezündeter Zylinder derjenige Zylinder betrachtet, der in der logischen Reihenfolge des Zündens der Zylinder unmittelbar nach einem logisch vorhergehenden Zylinder gezündet wird, dessen für die vorhergehenden Zylinder ermittelter Laufunruhwert LUR_{n-1} den vorgegebenen Schwellwert $SW1$ (siehe Figuren 1 bis 3) überschritten hat. Mit anderen Worten würde im vorangegangenen Beispiel davon

ausgegangen werden, dass der Zylinder der Zündfolge $ZF = n-1$ einen Fehler aufweist, der zu einer verringerten Drehmomenterzeugung führt. Im vorher beschriebenen Ausführungsbeispiel wäre der aktuell zündende Zylinder der Zylinder der Zündfolge [2], der nach dem logisch vorhergehenden Zylinder [1], der einen Fehler aufweist, gezündet wird.

Erfindungsgemäß erfolgt gemäß Schritt S2 die Bestimmung eines Kompensationsfaktors f , der die Beeinflussung der Laufunruhwerte des aktuell gezündeten Zylinders (hier [2]) und des vorhergehenden Zylinders (d.h. des in logischer Reihenfolge des Zündens unmittelbar vorhergehenden Zylinders, hier [1]) untereinander abbildet. In Schritt S3 erfolgt dann die Bestimmung eines kompensierten & absoluten Laufunruhwertes $cLUR[2]$ (siehe Fig. 3) des aktuell gezündeten Zylinders (hier: [2]) aus dem (nicht kompensierten & relativen) Laufunruhwert $LUR[2]$ des aktuell gezündeten Zylinders und dem Kompensationsfaktor f . Schließlich erfolgt dann in Schritt S4 ein Vergleich des kompensierten & absoluten Laufunruhwerts $cLUR$ des aktuell gezündeten Zylinders (hier: [2]) mit dem vorgegebenen Schwellwert $SW1$ zur Bestimmung, ob der aktuell gezündete Zylinder (der unmittelbar auf einem fehlerhaften logisch vorhergehend gezündeten Zylinder zündet) einen Fehler aufweist oder nicht.

Nachfolgend wird die Bestimmung des Kompensationsfaktors f im Detail erläutert.

Im Falle eines Defekts im Zylinder 1 erhöht sich die neue Segmentzeit t_1^* des Zylinders [1] gegenüber einem fehlerfrei arbeitenden Zylinder [1] um den Faktor f , der den gesuchten Kompensationsfaktor darstellt:

$$t_1^* = t_1 * f \quad (2),$$

wobei der Kompensationsfaktor f größer als 1 ist, d.h. $f \geq 1$. Für den aktuell zündenden Zylinder [1] ergibt sich dann ein Laufunruhwert

$$LUR_1 = \frac{t_1 - t_0 - t_c}{t_1^3},$$

wenn kein Defekt vorliegt und ein Laufunruhwert

$$LUR_1^* = \frac{f \cdot t_1 - t_0 - t_c}{f^3 \cdot t_1^3},$$

wenn im Zylinder [1] ein Defekt vorliegt. Der hochgestellte Index * kennzeichnet das Vorliegen eines Defekts. Die durch den Defekt hervorgerufene Differenz in den Werten der Laufunruhwerte LUR_1 und LUR_1^* für den aktuell zündenden Zylinder [1] wird als Laufunruhe-Unterschiedswert ΔLUR_1 bezeichnet und ergibt sich dann zu

$$\Delta LUR_1 = LUR_1 - LUR_1^* = \frac{1}{f^3} * \left((f^3 - 1) * LUR_1 - \frac{f-1}{t_1^2} \right) \quad (3).$$

Für den darauffolgenden zündenden Zylinder [2] (der den nachfolgenden Zylinder darstellt), ergibt sich ohne jeglichen Defekt

$$LUR_2 = \frac{t_2 - t_1 - t_c}{t_2^3},$$

und mit Defekt des Zylinders [1]

$$LUR_2^* = \frac{t_2 - f \cdot t_1 - t_c}{t_2^3}.$$

Der Laufunruhe-Unterschiedswert ΔLUR_2 für den Zylinder [2] ergibt sich dann zu

$$\Delta LUR_2 = LUR_2 - LUR_2^* = (f - 1) * \frac{t_1}{t_2^3} \quad (4).$$

Für den Fall, dass kein Fehler vorliegt, kann angenommen werden, dass alle Segmentzeiten t_1, t_2 in etwa gleich groß sind und der Laufunruhwert des ersten Zylinders [1] in etwa 0 entspricht, d.h. $t_2 \approx t_1$ und $LUR_1 \approx 0$, da bei einem Zylinder, der keinen Fehler aufweist, der Laufunruhwert gemäß Formel (1) etwa 0 ergibt. Hieraus ergeben sich Laufunruhe-Unterschiedswerte ΔLUR_1 für den ersten zündenden Zylinder [1] und ΔLUR_2 für den darauffolgenden zündenden Zylinder [2] gemäß

$$\Delta LUR_1 \approx -\frac{1}{f^3} * \frac{f-1}{t_1^2} \quad (5),$$

$$\Delta LUR_2 \approx \frac{f-1}{t_1^2} \quad (6).$$

Die relative Veränderung der Laufunruhwerte zwischen zwei in logischer Reihenfolge unmittelbar aufeinanderfolgend zündenden Zylinder ergibt sich daher durch die Verrechnung der Formeln (5) und (6) zu

$$\frac{\Delta LUR_2}{\Delta LUR_1} \approx -f^3 \quad (7).$$

Hieraus ergibt sich für den zweiten Laufunruhe-Unterschiedswert ΔLUR_2

$$\Delta LUR_2 \approx -f^3 * \Delta LUR_1.$$

Ein erhöhter Laufunruhwert eines Zylinders beeinflusst somit den darauffolgenden Zylinder der logischen Zündreihenfolge in proportionaler Weise mit dem Kompensationseinfluss von $-f^3$.

Die Bestimmung des Kompensationsfaktors f ist nun wie folgt: der Laufunruhe-Unterschiedswert ΔLUR_1 des einen Fehler aufweisenden Zylinders [1] kann durch eine Analyse der Messungen der Verbrennungskraftmaschine ermittelt werden, indem sein Verhalten der Laufunruhwerte bei keinem Defekt im Verhältnis zur gegenwärtigen Situation, in der ein Fehler vorliegt, vorgenommen wird. Die Segmentzeit t_1 für den Fall, dass kein Fehler vorliegt, kann durch Formel (8) ermittelt werden:

$$t_1 \approx \frac{\alpha_1}{6 * n_{mot}} \quad (8),$$

worin t_1 die gemessene Segmentzeit des zündenden Zylinders [1], α_1 eine vordefinierte Segmentbreite für eine Fehlzündungserkennung und n_{mot} die mittlere Motor- bzw. Kurbelwellendrehzahl ist, insbesondere die anliegende mittlere Drehzahl für das vorhandene Segment [1]. Der Kompensationsfaktor f kann dann mit Hilfe der Formeln (3) unter Annahme von $LUR[1] \approx 0$ ohne Defekt und Gleichung (8) ermittelt werden.

Damit erlaubt es der Kompensationsfaktor f , die Laufunruhe-Unterschiedswerte ΔLUR_n und ΔLUR_{n+1} für zwei logisch aufeinander folgend zündende Zylinder entsprechend der Gleichung (7) zu ermitteln. Durch die Kenntnis des Kompensationsfaktors f kann ein kompensierter Laufunruhwert $cLUR[2]$ für den Zylinder [2] ermittelt werden, indem der Laufunruhe-Unterschiedswert ΔLUR_2 auf den gemessenen Laufunruhwert LUR_2 aufaddiert wird. Hieraus ergibt sich ein im Vergleich zu Fig. 2 absolut erhöhter Laufunruhwert, der im Falle eines Fehlers oberhalb der vorgegebenen Schwelle $SW1$ zum Liegen kommt und damit eindeutig einen Fehler indiziert. Liegt im Zylinder [2] hingegen kein Fehler vor, wird der kompensierte Laufunruhwert $cLUR_2$ in etwa 0, jedoch wesentlich unterhalb des vorgegebenen Schwellwerts $SW1$ liegen. Ausgewertet wird dann der kompensierte Laufunruhwert $cLUR_2$ indem dieser mit dem vorgegebenen Schwellwert $SW1$ verglichen wird.

Das oben beschriebene Verfahren kann zur Laufzeit der Verbrennungskraftmaschine am Ende eines Produktionsvorgangs der Verbrennungskraftmaschine, im Rahmen einer Werkstattprüfung oder auch im Fahrbetrieb durchgeführt werden. Durch das beschriebene Verfahren ist keine Zerlegung oder Teilerlegung der Verbrennungskraftmaschine erforderlich, bevor man das komplette Fehlerausmaß verstehen konnte.

Das Verfahren lässt sich auf Basis vorhandener Steuergerätefunktionen in der Verbrennungskraftmaschine durchführen, da hierzu die Erkennung von Verbrennungsaussetzern, die gesetzlich gefordert ist, genutzt werden kann. Diese benötigt die Auswertung der Drehungleichförmigkeit zwischen einzelnen Zylindern, welche der Ermittlung der Laufunruhwerte entspricht.

Es ist unerheblich, mit welchem Drehzahlbasiertem Verfahren die relativen Laufunruhwerte ermittelt werden. Ein wesentliches Kennzeichen des hier vorliegenden Verfahrens besteht darin, eine Kompensation der erfassten Laufunruhwerte zu ermitteln und in Kenntnis eines Kompensationswerts den Einfluss eines unruhig laufenden Zylinders beim nächstzündenden Zylinder herauszurechnen. Dadurch wird für den nächstzündenden Zylinder jeweils der eigene Anteil der Laufunruhe erkennbar.

Bezugszeichenliste

LUR_{n-1}, LUR_n	Laufunruhwerte
LUR	nicht kompensierte Laufunruhwerte
cLUR	kompensierte Laufunruhwerte
$\Delta LUR_{n-1}, \Delta LUR_n$	Laufunruhe-Unterschiedswerte
SW1	Schwellenwert
f	Kompensationsfaktor
S1	Bestimmen der relativen Laufunruhwerte
S2	Bestimmen eines Kompensationsfaktors
S3	Bestimmen eines kompensierten und absoluten Laufunruhwerts
S4	Vergleich eines kompensierten Laufunruhwerts
t_{n-1}, t_n	Segmentzeiten

Patentansprüche

1. Verfahren zur rechnergestützten Bestimmung von mehrfachen Drehungleichförmigkeiten einer Verbrennungskraftmaschine, die eine Anzahl an Brennkammern mit sich bewegenden Kolben umfasst, die über eine Kurbelwelle mechanisch miteinander in Verbindung stehen, um die Kurbelwelle in Drehung zu versetzen, mit Hilfe von Laufunruhwerten (LUR_{n-1} , LUR_n), die während des Betriebs der Verbrennungskraftmaschine kontinuierlich und aufeinander folgend in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern für jede Brennkammer gemäß einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift aus Messgrößen der gerade betrachteten Brennkammer und Messgrößen der unmittelbar zuvor zündenden Brennkammer bestimmt werden, wobei ein jeweiliger Laufunruhwert (LUR_{n-1} , LUR_n) ein Maß für eine Drehungleichförmigkeit der Kurbelwelle infolge der gerade gezündeten Brennkammer repräsentiert, mit den Schritten:
 - a) Bestimmen (S1) des Laufunruhwerts (LUR_n) einer aktuell gezündeten Brennkammer, die in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern unmittelbar nach einer logisch vorhergehenden Brennkammer gezündet wird, dessen für die vorhergehende Brennkammer ermittelter Laufunruhwert (LUR_{n-1}) einen vorgegebenen Schwellwert (SW1) überschritten hat und einen Fehler der vorhergehenden Brennkammer indiziert;
 - b) Bestimmen (S2) eines Kompensationsfaktors (f), der die Beeinflussung der Laufunruhwerte (LUR_{n-1} , LUR_n) der aktuell gezündeten Brennkammer durch die vorhergehende Brennkammer abbildet;
 - c) Bestimmen (S3) eines kompensierten Laufunruhwerts ($cLUR_n$) der aktuell gezündeten Brennkammer aus dem Laufunruhwert (LUR_n) der aktuell gezündeten Brennkammer und dem Kompensationsfaktor (f);
 - d) Vergleich (S4) des kompensierten Laufunruhwerts ($cLUR_n$) der aktuell gezündeten Brennkammer mit dem vorgegebenen Schwellwert (SW1) zur Bestimmung, ob die aktuell gezündete Brennkammer einen Fehler aufweist oder nicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein jeweiliger Laufunruhwert (LUR_{n-1} , LUR_n) aus gemessenen Segmentzeiten (t_{n-1} , t_n) der aktuell gezündeten Brennkammer und der logisch vorhergehend gezündeten Brennkammer

mittels eines Geberrades bestimmt wird, das zur Bestimmung einer Kurbelwellendrehzahl drehfest mit der Kurbelwelle verbunden ist, wobei eine jeweilige Segmentzeit (t_{n-1} , t_n) die Zeit ist, die das Geberrad für die Drehung eines vorgegebenen Winkelsegments benötigt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsfaktor (f) ein proportionaler Faktor ist, der sich aus dem Verhältnis der Segmentzeit (t_n^*) der fehlerhaften Brennkammer zu der Segmentzeit (t_n) derselben, nicht fehlerhaften Brennkammer ergibt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsfaktor (f) ermittelt wird aus einer rechnerisch ermittelten Segmentzeit (t_{n-1}) der angenommenen, nicht fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer und einem Laufunruhe-Unterschiedswert (ΔLUR_{n-1}), der sich ergibt aus der Differenz des gemessenen Laufunruhwerts (LUR_{n-1}) der angenommenen, nicht fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer und einem Laufunruhwert (LUR_{n-1}^*) der angenommenen, fehlerhaften vorhergehenden Brennkammer.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des kompensierten Laufunruhwerts ($cLUR_n$) aus dem Kompensationsfaktor (f) und dem zuvor für die vorhergehende Brennkammer ermittelten Laufunruhe-Unterschiedswert (ΔLUR_{n-1}) ein Laufunruhe-Unterschiedswert (ΔLUR_n) für die Brennkammer ermittelt wird, wobei der Laufunruhe-Unterschiedswert (ΔLUR_n) und der ermittelte Laufunruhwert (LUR_n) addiert werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kompensationsfaktor (f) für jedes Paar an Brennkammern, die in der logischen Reihenfolge des Zündens der Brennkammern unmittelbar aufeinander folgen, neu berechnet wird.
7. Computerprogrammprodukt, das direkt in den internen Speicher eines digitalen Computers geladen werden kann und Softwarecodeabschnitte umfasst, mit denen die Schritte gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche ausgeführt werden, wenn das Produkt auf einem Computer läuft.

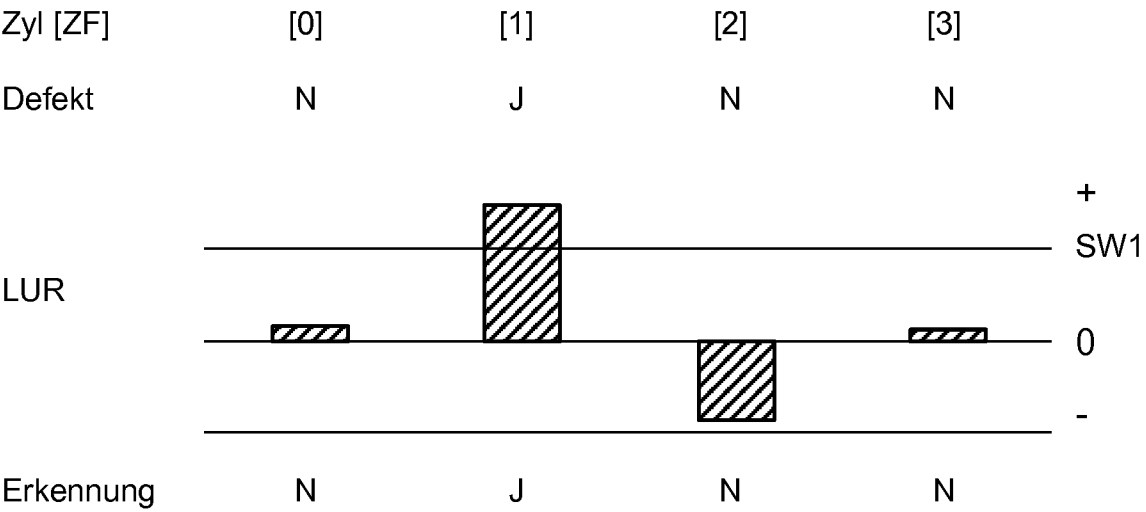


Fig. 1

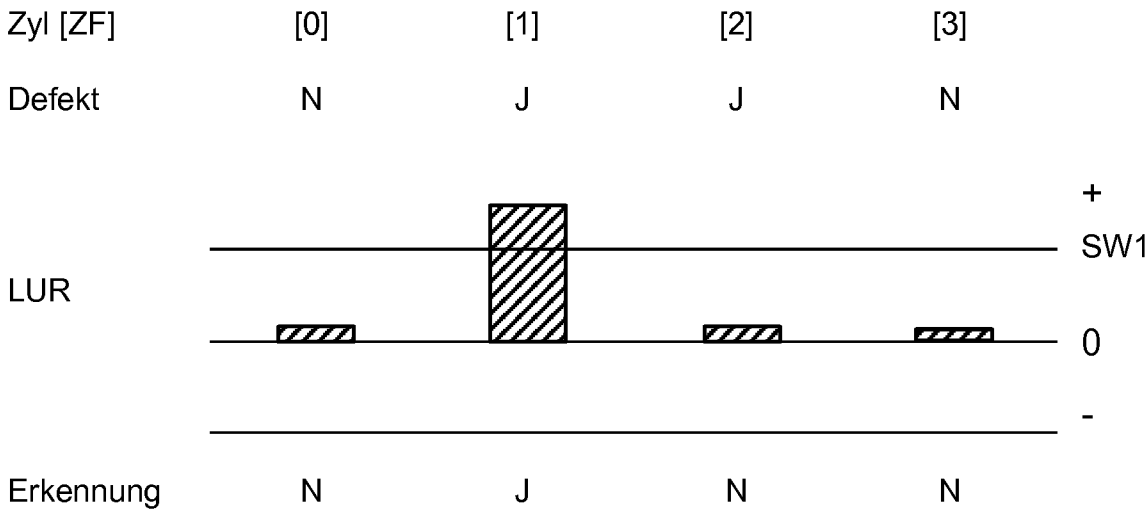


Fig. 2

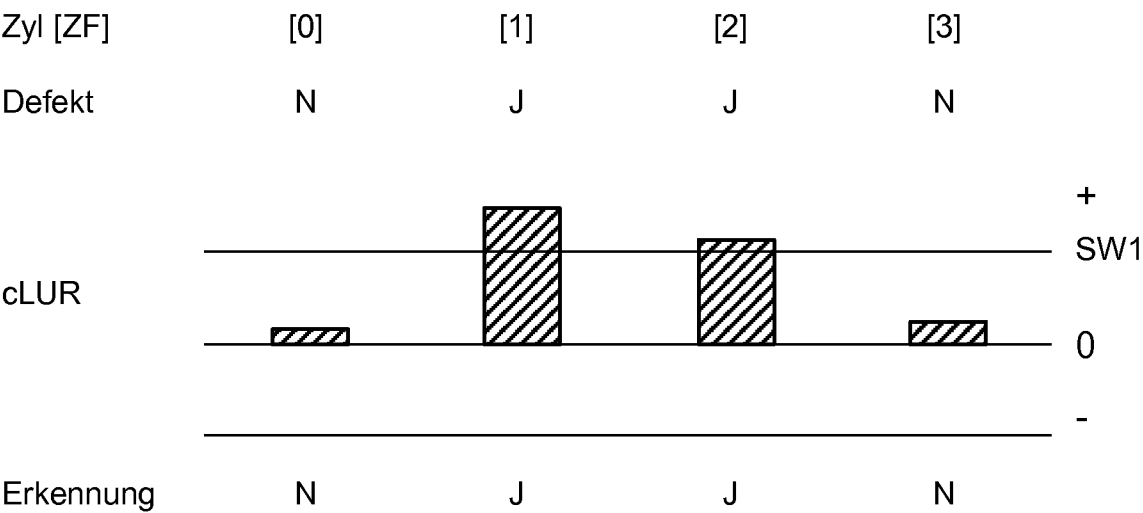


Fig. 3

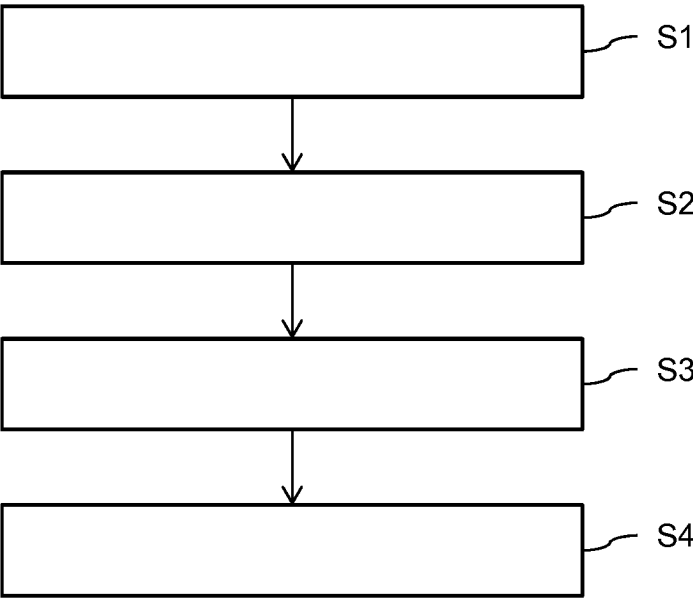


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/081941

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01M 15/04**(2006.01)i; **F02D 41/22**(2006.01)i; **F02D 41/14**(2006.01)i; **G01M 15/11**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M; F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5906651 A (AMANO HIDETOSHI [JP]) 25 May 1999 (1999-05-25) column 4, line 40 - column 8, line 10; figures 1,3,4	1-7
A	US 6062071 A (HENN MICHAEL [DE] ET AL) 16 May 2000 (2000-05-16) column 4, line 14 - column 7, line 64; figures 2-4	1-7
A	US 5747679 A (DIETZ HARTMUT [DE] ET AL) 05 May 1998 (1998-05-05) column 4, line 46 - column 5, line 16; figure 5	1-7
A	DE 19632903 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 27 March 1997 (1997-03-27) column 4, line 31 - column 5, line 52; figures 5,8	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 February 2020

Date of mailing of the international search report

13 February 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Deseau, Richard

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/081941

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	5906651	A	25 May 1999	DE	69818904	T2	09 September 2004
				EP	0880018	A2	25 November 1998
				JP	3360566	B2	24 December 2002
				JP	H10318033	A	02 December 1998
				US	5906651	A	25 May 1999
US	6062071	A	16 May 2000	NONE			
US	5747679	A	05 May 1998	FR	2739145	A1	28 March 1997
				JP	4023854	B2	19 December 2007
				JP	H09177596	A	08 July 1997
				US	5747679	A	05 May 1998
DE	19632903	A1	27 March 1997	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01M15/04 F02D41/22 F02D41/14 G01M15/11
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01M F02D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 906 651 A (AMANO HIDETOSHI [JP]) 25. Mai 1999 (1999-05-25) Spalte 4, Zeile 40 - Spalte 8, Zeile 10; Abbildungen 1,3,4	1-7
A	US 6 062 071 A (HENN MICHAEL [DE] ET AL) 16. Mai 2000 (2000-05-16) Spalte 4, Zeile 14 - Spalte 7, Zeile 64; Abbildungen 2-4	1-7
A	US 5 747 679 A (DIETZ HARTMUT [DE] ET AL) 5. Mai 1998 (1998-05-05) Spalte 4, Zeile 46 - Spalte 5, Zeile 16; Abbildung 5	1-7
A	DE 196 32 903 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 27. März 1997 (1997-03-27) Spalte 4, Zeile 31 - Spalte 5, Zeile 52; Abbildungen 5,8	1-7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Februar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/02/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Deseau, Richard

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/081941

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5906651	A	25-05-1999	DE 69818904 T2 09-09-2004
		EP 0880018 A2 25-11-1998	
		JP 3360566 B2 24-12-2002	
		JP H10318033 A 02-12-1998	
		US 5906651 A 25-05-1999	

US 6062071	A	16-05-2000	KEINE

US 5747679	A	05-05-1998	FR 2739145 A1 28-03-1997
		JP 4023854 B2 19-12-2007	
		JP H09177596 A 08-07-1997	
		US 5747679 A 05-05-1998	

DE 19632903	A1	27-03-1997	KEINE
