

(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
25. Oktober 2018 (25.10.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/192993 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02D 41/22 (2006.01) F02D 35/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/059938

(22) Internationales Anmeldedatum:

18. April 2018 (18.04.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2017 108 285.9

19. April 2017 (19.04.2017) DE

(71) Anmelder: MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH
[DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: TOTH, Aron; Bodenseestraße 24, 88048 Friedrichshafen (DE). BERNHARD, Alexander; Ettenkircher Straße 8, 88074 Meckenbeuren (DE). FRANK, Tobias; Ettostraße 11, 88048 Friedrichshafen (DE). FIMML, Wolfgang; Backenreuter Straße 21, 6912 Hörbranz (AT).

(74) Anwalt: EISENFÜHR SPEISER PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE PARTGMBB; Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, 10178 Berlin (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,

(54) Title: INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND METHOD FOR MONITORING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: BRENNKRAFTMASCHINE UND VERFAHREN ZUM ÜBERWACHEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

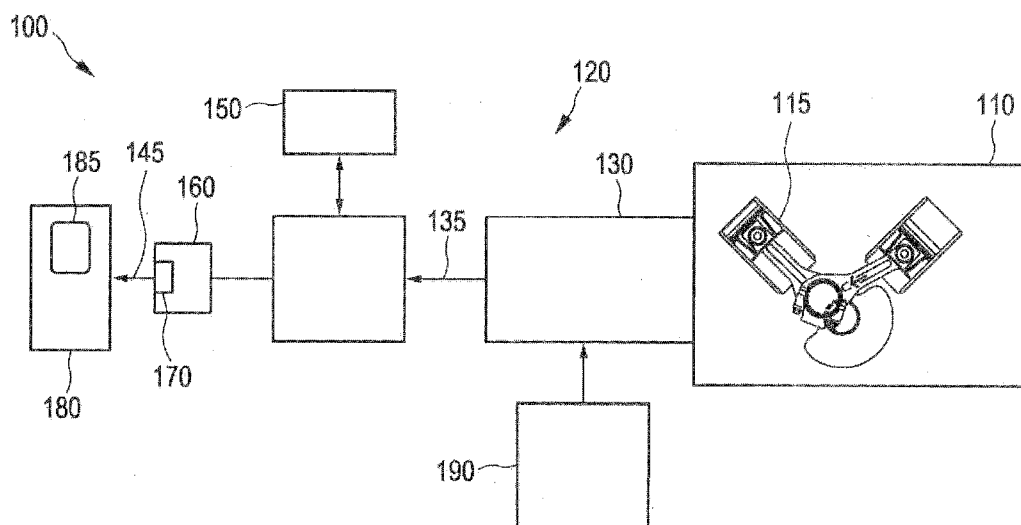


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to an internal combustion engine having a motor having a number of cylinders and a monitoring device for monitoring an operation of the internal combustion engine, characterized in that, for each cylinder from the number of cylinders, a respective cylinder pressure sensor of the monitoring device is arranged on the respective cylinder of the internal combustion engine and is designed to measure a cylinder pressure of the respective cylinder, to determine cylinder pressure data corresponding to the cylinder pressure and to output a respective cylinder pressure signal indicating the cylinder pressure data. The monitoring device furthermore has an analysis unit which is designed to receive the respective cylinder pressure signal (135) and to determine, individually for each cylinder, from a temporal progression of the cylinder pressure data of the respective cylinder, whether there is an anomaly of



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, 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)

cylinder pressure, in particular whether there is an anomaly of cylinder pressure during a compression phase of the respective cylinder during operation of the motor, and to associate the anomaly with the respective cylinder of the motor.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine, aufweisend einen Motor mit einer Anzahl von Zylindern und eine Überwachungseinrichtung zum Überwachen eines Betriebs der Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Zylinder aus der Anzahl von Zylindern ein jeweiliger Zylinderdrucksensor der Überwachungseinrichtung an dem jeweiligen Zylinder der Brennkraftmaschine angeordnet ist und ausgebildet ist, einen Zylinderdruck des jeweiligen Zylinders zu messen, dem Zylinderdruck entsprechende Zylinderdruckdaten zu bestimmen und ein die Zylinderdruckdaten anzeigendes jeweiliges Zylinderdrucksignal auszugeben. Weiterhin weist die Überwachungseinrichtung eine Analyseeinheit auf, die ausgebildet ist, das jeweilige Zylinderdrucksignal (135) zu empfangen und aus einem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten des jeweiligen Zylinders zylinderindividuell für jeden Zylinder zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, insbesondere ob eine Anomalie des Zylinderdrucks während einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders im Betrieb des Motors vorliegt, die Anomalie dem jeweiligen Zylinder des Motors zuzuordnen.

BESCHREIBUNG

5 Brennkraftmaschine und Verfahren zum Überwachen einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine, aufweisend einen Motor mit einer Anzahl von Zylindern und eine Überwachungseinrichtung zum Überwachen eines Betriebs der Brennkraftmaschine. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine sowie eine Software.

Es ist bekannt, durch Zylinderdrucksensoren einen Zylinderdruck in einem Zylinder eines Motors zu überwachen. Hierdurch kann bei atypischem Verhalten des Zylinderdrucks im Zylinder, beispielsweise bei ungewöhnlich großem oder ungewöhnlich kleinem Zylinderdruck, auf einen mechanischen Defekt des Motors geschlossen werden. Bekannte mechanische Defekte mit Einfluss auf das Verhalten des Zylinderdrucks sind in diesem Rahmen ein gebrochener oder abgenutzter Kolbenring, ein Ventilabriss, ein Festklemmen eines Ventils aufgrund von Ablagerungen im Brennraum. Neben mechanischen Defekten hat es ebenfalls Einfluss auf das Verhalten des Zylinderdrucks wenn das Ventilspiel von Einlass- oder Auslassventil zu groß ist.

Daher werden typischerweise regelmäßig Wartungsarbeiten an Motoren durchgeführt, bei denen die Ventile und der Zustand der Kolbenringe untersucht werden.

Weiterhin ist ein Steuerungssystem für Brennkraftmaschinen bekannt, welches bei Vorliegen eines atypischen Verhaltens des Zylinderdrucks ein Signal an einen Nutzer der Brennkraftmaschine auslöst.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte Brennkraftmaschine bereitzustellen, insbesondere eine Brennkraftmaschine bereitzustellen, die besonders vorteilhaft Zylinderdruckdaten einer Brennkraftmaschine während eines Betriebs der Brennkraftmaschine überwacht. Hierbei soll insbesondere eine effektive Überwachung bereitgestellt werden, durch die im Fall eines Schadens eine schnelle Wartung unterstützt wird.

Zum Lösen dieser Aufgabe wird eine Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen.

Die Brennkraftmaschine gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung weist einen Motor mit einer Anzahl von Zylindern und eine Überwachungseinrichtung zum Überwachen eines Betriebs der Brennkraftmaschine auf.

5

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass

- für jeden Zylinder aus der Anzahl von Zylindern ein jeweiliger Zylinderdrucksensor der Überwachungseinrichtung an dem jeweiligen Zylinder der Brennkraftmaschine angeordnet ist und ausgebildet ist, einen Zylinderdruck des jeweiligen Zylinders zu messen, dem Zylinderdruck entsprechende Zylinderdruckdaten zu bestimmen und ein die Zylinderdruckdaten anzeigendes jeweiliges Zylinderdrucksignal auszugeben;
- eine Analyseeinheit der Überwachungseinrichtung ausgebildet ist, das jeweilige Zylinderdrucksignal zu empfangen und aus einem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten des jeweiligen Zylinders zylinderindividuell für jeden Zylinder zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, insbesondere ob eine Anomalie des Zylinderdrucks während einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders im Betrieb des Motors vorliegt, wobei die Anomalie bestimmbar ist als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes Symptom, das Symptom verglichen wird mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten, und aus einer signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten Referenz auf das Vorliegen der Anomalie, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie, geschlossen wird, und wobei die Analyseeinheit weiter ausgebildet ist, die Anomalie dem jeweiligen Zylinder des Motors zuzuordnen.

20
25

30

Der Erfindung liegt die Überlegung zugrunde, dass eine Reparatur eines schadhafte Motors besonders effizient und schnell erfolgen kann, wenn ein Ort eines schadhafte Zylinders bekannt ist. Außerdem kann eine regelmäßige Wartung entbehrlich sein, wenn im Betrieb der Brennkraftmaschine eine Funktionsfähigkeit von entsprechenden verschleißanfälligen Komponenten erfolgen kann.

Die Erfindung hat erkannt, dass eine Überwachung des zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten Rückschlüsse auf eine Funktionsfähigkeit der Ventile und des Kolbenrings der Zylinder des Motors erlaubt, so dass aus einer zylinderindividuellen Auswertung der Zylinderdruckdaten auf einen konkreten Schaden eines bestimmten Zylinders des Motors geschlossen werden kann.

Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine ermöglicht eine besonders effektive Wartung, da für eine festgestellte Anomalie bereits der Zylinder, an dem die Anomalie aufgetreten ist bekannt ist. Insbesondere kann eine Reparaturzeit und somit auch eine Standzeit der Brennkraftmaschine verkürzt werden.

Eine Wartung der Zylinder gemäß fester Wartungsintervalle kann durch die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine vorteilhaft vermieden werden.

Die Auswertung von Zylinderdruckdaten ist insbesondere angesichts eines einfachen und robusten Aufbaus handelsüblicher Zylinderdrucksensoren vorteilhaft. Hierbei stellen Zylinderdruckdaten vorzugsweise den Druck im Zylinder über einen Kurbelwinkel für das vorliegende Arbeitsspiel des Zylinders dar.

Die Kompressionsphase eines Zylinders wird gebildet durch denjenigen Teil eines Arbeitszyklus eines entsprechenden Zylinders, bei dem der Kolben zu einem Zylinderkopf des Zylinders bewegt wird, so dass der Druck im Verbrennungsraum des Zylinders erhöht wird. Hierbei wird die Kompressionsphase vorzugsweise durch eine linke und rechte Flanke um einen maximalen Zylinderdruck einer Zylinderdruckkurve gebildet.

Das Symptom ist ein Merkmal des zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten, welches dazu geeignet ist, Rückschlüsse auf einen Schaden an dem entsprechendem Zylinder, an dem die Zylinderdruckdaten gemessen wurden, zuzulassen. Auf das Vorliegen einer Anomalie wird im Rahmen der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine aus der Größe des Symptoms im Vergleich zu einer adäquaten Referenz geschlossen. Dies bedeutet, dass das Symptom in Bezug gesetzt wird zu der adäquaten Referenz, also beispielsweise einem zu einem früheren Zeitpunkt gemessenen Zylinderdruck der Zylinderdruckkurve, einem vorbestimmten Vergleichswert zu einer Eigenschaft der Zylinderdruckkurve, oder einer vorbestimmten Soll-Zylinderdruckkurve.

Eine Anomalie ist ein Fehlverhalten des Motors, insbesondere der Ein- und/oder Auslassventile oder der Kolbenringe im Zylinder. Bei Vorliegen einer signifikant verhältnismäßigen Größe des Symptoms angesichts der adäquaten Referenz kann auf ein solches Fehlverhalten, also eine Anomalie, geschlossen werden. Eine signifikant verhältnismäßige Größe des Symptoms liegt
5 vor, wenn im Vergleich zu üblichen Unterschieden zur adäquaten Referenz ein Maß überschritten ist, was geeignet ist, ein Fehlverhalten gegenüber einer zufälligen Abweichung eines zufälligen Unterschieds wahrscheinlich zu machen. Insbesondere kann hierdurch sichergestellt werden, dass nicht bautechnisch bedingte Ungenauigkeiten, wie etwa das Kolbenspiel, zum Ermitteln des Vorliegens einer Anomalie führen. Aus dem Fehlverhalten des
10 Motors wird erfindungsgemäß auf einen mechanischen Defekt an dem entsprechenden Zylinder und/oder auf ein anormales Ventilspiel, also ein Ventilspiel, das sich deutlich von einem vorbestimmten Ventilspiel unterscheidet, geschlossen.

Ein zeitlicher Verlauf von Zylinderdruckdaten zeigt den gemessenen Zylinderdruck für
15 mindestens drei verschiedene Kurbelwinkel innerhalb einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders an, bevorzugt mehr als 10, mehr als 50 oder mehr als 100 verschiedene Kurbelwinkel innerhalb einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die oben genannte Aufgabe durch ein
20 Verfahren zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine mit einer Anzahl von Zylindern, insbesondere einer Brennkraftmaschine gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- 25
- Messen eines jeweiligen Zylinderdrucks für alle Zylinder der Brennkraftmaschine;
 - Bestimmen von entsprechenden Zylinderdruckdaten und Ausgeben eines die Zylinderdruckdaten anzeigenden Zylinderdrucksignals;
 - 30 - Empfangen des jeweiligen Zylinderdrucksignals und zylinderindividuelles Ermitteln ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, anhand eines zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten, wobei

die Anomalie bestimmbar ist als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes Symptom,

das Symptom verglichen wird mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten, und

aus einer signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten

5 Referenz auf das Vorliegen der Anomalie, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie, geschlossen wird, und

- Zuordnen der ermittelten Anomalie zu einem Zylinder des Motors.

10 Vorteilhaft ermöglicht das Verfahren eine zylinderindividuelle Feststellung, welcher Zylinder einen Schaden aufweist. Weiterhin kann angesichts des Symptoms ein Anomaliegrund angezeigt werden, was eine Wartung einer entsprechenden Brennkraftmaschine besonders vereinfachen kann.

15 Weiterhin kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft automatisiert ausgeführt werden, insbesondere in regelmäßigen Abständen automatisiert ausgeführt werden, ohne dass einzelne Verfahrensschritte eine manuelle Bedienung des Nutzers erfordern.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die oben genannte Aufgabe durch eine
20 Software gelöst, die Programmmittel aufweist, mit einem Modul, das dazu ausgebildet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine zu steuern.

Die Software wird bevorzugt während eines Betriebs der Brennkraftmaschine durch einen mit
25 der Brennkraftmaschine verbundenen Prozessor ausgeführt.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte Möglichkeiten an, das oben erläuterte Konzept im Rahmen der Aufgabenstellung sowie hinsichtlich weiterer Vorteile zu realisieren.

30 Vorzugsweise ist die Analyseeinheit der Brennkraftmaschine ausgebildet, für mehrere Symptome zu überprüfen, ob diese Symptome in dem Verlauf der Zylinderdruckdaten auftreten. Hierdurch kann das Vorliegen einer Anomalie für verschiedene Anomalieursachen, also

verschiedene Fehlfunktionen des Motors überprüft werden. Dies ermöglicht das Feststellen unterschiedlicher zu wartender Bauteile des Motors und erhöht mithin die Effizienz der Wartung.

In einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Brennkraftmaschine gemäß dem ersten
5 Aspekt der Erfindung ist die Analyseeinheit weiter ausgebildet, aus diskreten Werten des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten des Zylinders eine aktuelle Zylinderdruckkurve mit aktuellen Zylinderdruckkurven-Koeffizienten zu berechnen und basierend auf der aktuellen Zylinderdruckkurve zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt. In dieser Weiterbildung kann die Brennkraftmaschine vorteilhaft einen
10 Verarbeitungsaufwand der Überwachungseinrichtung reduzieren, da bereits aus wenigen Werten für den Zylinderdruck des Zylinders, die den ermittelten zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten darstellen, auf die aktuelle Zylinderdruckkurve geschlossen werden kann. Hierbei wird besonders vorteilhaft ein bekannter charakteristischer Verlauf von Zylinderdruckkurven berücksichtigt. Insbesondere kann durch die Brennkraftmaschine gemäß
15 dieser Weiterbildung auf einen maximalen Zylinderdruck geschlossen werden, ohne dass die Messung des Zylinderdrucks in derartig kleinen zeitlichen Abständen stattfinden muss, dass der maximale Zylinderdruck tatsächlich gemessen wird.

In einer bevorzugten Weiterbildung ist die Brennkraftmaschine weiterhin dadurch
20 gekennzeichnet, dass

- die Überwachungseinrichtung eine Speichereinheit aufweist, die mit der Analyseeinheit verbunden ist und die ausgebildet ist, vorbestimmte Soll-Druckdaten zu speichern, die eine Soll-Druckverlaufskurve des Motors kennzeichnen, wobei
- die Analyseeinheit ausgebildet ist, auf die vorbestimmten Soll-Druckdaten zuzugreifen und die
25 vorbestimmten Soll-Druckdaten als adäquate Referenz für den Vergleich des Symptoms genutzt wird.

In dieser Weiterbildung kann vorteilhaft ein Unterschied zwischen einer sich aus den ermittelten Zylinderdruckdaten ergebenden aktuellen Druckverlaufskurve und der Soll-Druckverlaufskurve
30 bestimmt werden. Hierdurch können vorteilhaft für das Bestimmen, ob Symptome eine signifikante verhältnismäßige Größe haben, lediglich diejenigen Symptome untersucht werden, die sich aus deutlichen Abweichungen zur Soll-Druckverlaufskurve ergeben. In einer besonders vorteilhaften Variante dieser Weiterbildung, wurden die vorbestimmten Soll-Druckdaten zu einem früheren Zeitpunkt von der Analyseeinheit der Brennkraftmaschine aus

Zylinderdruckdaten des jeweiligen Zylinders während eines fehlerfreien Zustands des Motors bestimmt. Dies ermöglicht die Verwendung einer Soll-Druckverlaufskurve, die an den jeweiligen Motor, insbesondere an den jeweiligen Zylinder des Motors angepasst ist.

- 5 In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines symptomatischen maximalen Zylinderdruck des Zylinders im Vergleich zu einer die adäquate Referenz bildenden früheren Messung des Zylinderdrucks. Aus der Verringerung des maximalen Zylinderdrucks des Zylinders kann auf eine Fehlfunktion des
10 Einlassventils geschlossen werden. Ein sich dynamisch verringernder maximaler Zylinderdruck kann insbesondere durch ein undichtes Ventil, beispielsweise aufgrund von Ablagerungen im Brennraum, verursacht werden.

- In einer weiteren erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die
15 Analyseeinheit ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verschiebung einer symptomatischen zeitlichen Lage eines maximalen Zylinderdrucks relativ zu einem die adäquate Referenz bildenden oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine hin zu einem negativen Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine. Der negative Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine liegt im Bereich einer linken Flanke, oder
20 einlaufenden Flanke der sich bei fehlerfreier Funktion des Motors ergebenden Zylinderdruckverlaufskurve. Verschiebt sich der maximale Zylinderdruck folglich zur negativen Kurbelwinkeln, bedeutete dies, dass bevor der entsprechende Kolben des Zylinders seinen oberen Totpunkt erreicht hat, ein maximaler Druck in dem Verbrennungsraum des Zylinders entsteht. Hierdurch wird eine Fehlfunktion des Einlassventils des Zylinders erkannt und
25 entsprechend das Vorliegen einer Anomalie ermittelt.

- In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines symptomatischen indizierten Mitteldrucks des Zylinders im
30 Vergleich zu einer die adäquate Referenz bildenden früheren Messung des indizierten Mitteldrucks. Der indizierte Mitteldruck ergibt sich bekanntermaßen aus dem Verhältnis von indizierte Arbeit, die durch den Zylinder verrichtet wird, und vorliegendem Hubvolumen. Das Ermitteln eines im Vergleich zu einer früheren Messung verringerten indizierten Mitteldrucks zeigt eine Fehlfunktion des Einlassventils des entsprechenden Zylinders an.

Zusätzlich oder alternativ ist die Analyseeinheit der Brennkraftmaschine in einer Weiterbildung ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines symptomatischen minimalen Zylinderdrucks nach einem Erreichen eines oberen Totpunkts der Brennkraftmaschine im Vergleich zu einem die adäquate Referenz bildenden minimalen Zylinderdruck vor einem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine. Eine Verringerung des minimalen Zylinderdrucks nach einer Kompression unter ein Niveau, das vor dieser Kompression erreicht wurde, zeigt eine fehlerhafte Kompression innerhalb des Zylinders an. Hierbei kann auf einem Defekt eines Ventils an dem entsprechenden Zylinder geschlossen werden, falls die Verringerung eine signifikante verhältnismäßige Größe im Vergleich zu dem Niveau vor der Kompression hat, also keine bauteilbedingten Schwankungen vorliegen, die auch im Falle eines funktionierenden Zylinders vorliegen würden.

In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer starken Vergrößerung einer symptomatischen Krümmung einer auslaufenden Flanke einer sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve nach einem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine. Eine derart starke Vergrößerung einer Krümmung einer auslaufenden Flanke, also einer rechten Flanke, führt zu einem charakteristischen Knick in einem entsprechenden Zylinderdruckverlauf. Ein solcher Knick, also eine stark vergrößerte Krümmung, ergibt sich typischerweise durch eine Umkehr einer Strömungsrichtung aufgrund von Druckdifferenzen zwischen Brennraum und Ladeluftrohr an dem Zylinder. Mit zunehmender Fehlfunktion eines Einlassventils des Zylinders verschiebt sich dieser Knick zu kleineren Kurbelwinkeln. Bereits durch den Knick kann auf das Vorliegen der entsprechenden Anomalie, also einer Fehlfunktion des Einlassventils, geschlossen werden. Aus einer Lage des Knicks kann wiederum auf ein Ausmaß der Anomalie, also auf einen Grad der Fehlfunktion des Ventils geschlossen werden.

In einer bevorzugten erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, aus einer Verringerung eines symptomatischen Grades an Symmetrie einer sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve bezüglich eines oberen Totpunktes der Brennkraftmaschine zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt. Bei einem korrekt eingestellten Einlassventil ist typischerweise eine Achsensymmetrie im Zylinderdruckverlauf bezüglich dem oberen Totpunkt

der Brennkraftmaschine erkennbar, wenn der Motor entweder geschleppt wird oder die Zylinderabschaltung aktiviert ist. Ein geringer Grad an Symmetrie, also eine gewisse Asymmetrie, innerhalb der sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve, lässt eine Fehlfunktion, insbesondere ein nicht korrekt eingestelltes Einlassventil erkennen. Hierbei wird die adäquate Referenz durch ein bei fehlerfreiem Motor typischerweise vorliegendes Maß an Asymmetrie in der Zylinderdruckkurve gebildet.

Weiterhin ist die Analyseeinheit in einer Weiterbildung ausgebildet, basierend auf den Zylinderdruckdaten und auf einem vorbestimmten Hubvolumen des Zylinders der Brennkraftmaschine für mindestens zwei verschiedene Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine, einen symptomatischen aktuellen Polytropen-Exponent des Zylinders der Brennkraftmaschine zu bestimmen und dadurch zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt. Die adäquate Referenz ist in dieser Weiterbildung ein vorbestimmter Polytropen-Exponent des entsprechenden Zylinders, auf den die Analyseeinheit zugreifen kann. Der Polytropen-Exponent ist derjenige Exponent n , für den gilt $p \cdot V^n = \text{const}$, wobei p der gemessene Zylinderdruck und V des spezifische Volumen des Gases in dem Zylinder sind. Der Polytropen-Exponent n ist gleich 1 für einen isothermen Prozess, gleich 0 für einen isobaren Prozess, und sehr groß für einen isochoren Prozess. Aus dem Wert des Zylinderdruckes bei zwei verschiedenen Schnittstellen kann direkt auf den vorliegenden Polytropen-Exponent geschlossen werden, wobei vorzugsweise als Stützstellen 100° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt sowie 64° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine gewählt werden. Unterscheidet sich der Polytropen-Exponent von dem vorbestimmten Polytropen-Exponent liegt ein Kompressionsfehler vor. Ein solcher Kompressionsfehler kann durch eine Fehlfunktion der Ventile und/oder des Kolbenringes des Zylinders verursacht werden.

In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einer Analyse eines durch den zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten gebildeten symptomatischen Druckverlaufsmusters zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlass- und/oder Auslassventils. Das Schließen des Einlass oder Auslassventils lässt sich durch charakteristische hochfrequente Zylinderdruckschwingungen bei einem jeweiligen vorbestimmten Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine feststellen. Fehlen eine solche hochfrequenten Zylinderdruckschwingungen, oder fällt sie deutlich geringer aus als dies typischerweise der Fall

ist, kann auf ein falsch eingestelltes Einlassventil und/oder entsprechend auf ein falsch eingestelltes Auslassventil geschlossen werden. Insbesondere kann auf eine derartige falsche Einstellung geschlossen werden, falls eine stetige Zylinderdruckverlaufskurve aus den gemessenen Zylinderdruckdaten erhalten wird, die keine charakteristischen hochfrequenten Zylinderdruckschwingungen anzeigt. Derartige plötzliche Abweichungen von einem konstanten Druck, wie sie im Falle von fehlerfreien Ventilen vorliegt, können besonders gut automatisiert, insbesondere mittels eines Computers automatisiert, bestimmt werden. Weiterhin erlaubt die Brennkraftmaschine gemäß dieser Weiterbildung ein Feststellen, ob ein Defekt des Einlass- oder Auslassventils des entsprechenden Zylinders vorliegt. Weiterhin kann durch Lage und Größe der charakteristischen hochfrequenten Zylinderdruckschwingungen bei dem entsprechenden Kurbelwinkel auf ein Ventilspiel des jeweiligen Ventils des Zylinders geschlossen werden. So führt ein verringertes Ventilspiel dazu, dass ein Ventil früher öffnet und später schließt, im Vergleich zu einem nicht verringerten Ventilspiel. Aus der Lage der charakteristischen hochfrequenten Zylinderdruckschwingungen, kann bestimmt werden, ob ein vorliegendes Ventilspiel eines Ventils des Zylinders einem vor einem Betrieb des Zylinders vorbestimmten Ventilspiel entspricht. Weiterhin kann die Analyseeinheit zusätzlich zu dem Vorliegen einer Anomalie zusätzlich oder alternativ ein Ventilspiel für Einlass- und/oder Auslassventil des Zylinders ausgeben. Hierdurch kann eine durchzuführende Wartung besonders effektiv ausgeführt werden, da bereits Angaben zu dem vorliegenden Ventilspiel existieren. Insbesondere kann durch das Ermitteln einer Anomalie des Ventilspiels, also beispielsweise eines fehlerhaft großen Ventilspiels, eine präventive Wartung des entsprechenden Zylinders durchgeführt werden, ehe ein Schaden an dem Motor entstehen konnte.

In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, bei Vorliegen einer Anomalie zusätzlich eine Analyse eines durch den zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten gebildeten symptomatischen Druckverlaufsmusters zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlass- und/oder Auslassventils des Zylinders auszuführen und basierend darauf der Anomalie eine Anomalieursache zuzuordnen, insbesondere zu unterscheiden, ob ein Defekt eines Ventils oder eines Kolbenrings vorliegt. Bei festgestelltem Vorliegen einer Anomalie am Zylinder, liegt typischerweise ein mechanischer Defekt von einem der Ventile oder einem der Kolbenringe des Zylinders vor. Falls eine Anomalie an einem Zylinder festgestellt wurde, jedoch auch die für ein Schließen des Einlass oder Auslassventils typischen charakteristischen hochfrequenten Zylinderdruckschwingungen festgestellt wurden, kann daher auf einen mit großer Wahrscheinlichkeit vorliegenden Kolbenringdefekt geschlossen

werden. Diese Weiterbildung erlaubt besonders vorteilhaft eine Unterscheidung zwischen zwei verschiedenen Fehlerursachen am Zylinder. Dies ermöglicht die Feststellung einer Anomalieursache, ohne dass hierfür ein Auseinanderbauen des Motors oder eine manuelle Untersuchung des Motors notwendig sind.

5 In einer besonders bevorzugten Weiterbildung liegt eine Kombination von mindestens zwei der beschriebenen Weiterbildungen vor. Vorzugsweise ist die Brennkraftmaschine dabei ausgebildet, verschiedene Eigenschaften des zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten, also verschiedene Symptome durch die Analyseeinheit untersuchen zu können, so dass aufgrund mehrerer
10 Symptome mit signifikanter verhältnismäßiger Größe auf einen Defekt und/oder eine Fehlfunktion eines Bauteils des Zylinders geschlossen werden kann. Insbesondere ist die Brennkraftmaschine in einer Weiterbildung ausgebildet, erst bei einem Vorliegen von mehreren Symptomen mit signifikanter verhältnismäßiger Größe das Vorliegen einer Anomalie zu bestätigen. Hierdurch können Fehler der Überwachungseinrichtung besonders zuverlässig
15 vermieden werden.

In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine ist die Analyseeinheit ausgebildet, ein Ausgabesignal auszulösen, falls ein Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wird. Das Auslösen eines Ausgabesignals ermöglicht eine schnelle
20 Reaktion auf die Anomalie, also auf ein Fehlverhalten des Zylinders, beispielsweise durch einen Hersteller und/oder Nutzer der Brennkraftmaschine. Hierdurch kann ein Folgeschaden an dem Zylinder vermieden werden.

In einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Brennkraftmaschine zeigt die Analyseeinheit an,
25 an welchem Zylinder aus der Anzahl von Zylindern das Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wurde. Hierdurch ist bereits bei Vorliegen des Ausgabesignals klar, welcher Zylinder im Rahmen einer Wartung repariert werden muss, und an wie vielen Zylindern ein Fehlverhalten, also eine Anomalie, vorliegt. Beispielsweise kann das Ausgabesignal anzeigen ob ein Zylinder der A-Seite oder ein Zylinder der B-Seite betroffen ist. Beispielsweise kann das
30 Ausgabesignal weiter anzeigen, welcher Zylinder der A-Seite oder der B-Seite betroffen ist, wie etwa durch das Anzeigen der Information B6 für eine Anomalie an dem sechsten Zylinder der B-Seite des Motors.

Vorzugsweise zeigt das Ausgabesignal weiterhin eine Motoridentifikationsnummer an, die eine Zuordnung des Ausgabesignals zu dem das Ausgabesignal auslösenden Motor ermöglicht. Hierdurch kann beispielsweise ein Hersteller der Brennkraftmaschine sofort die Anomalie, die für einen Motor festgestellt wurde, nach Art und Ausmaß angesichts des für den konkreten Motors vorliegenden Verwendungszwecks beurteilen, insbesondere beurteilen, ob ein Nutzer über die Fehlfunktion der Brennkraftmaschine informiert werden sollte.

In einer besonders bevorzugten Weiterbildung zeigt das Ausgabesignal neben dem Vorliegen der Anomalie auch eine Anomalieursache an, insbesondere ob ein Defekt eines Ventils oder eines Kolbenrings vorliegt. Die Brennkraftmaschine aus dieser Weiterbildung ermöglicht besonders vorteilhaft eine detaillierte Feststellung, welches Bauteil eines Zylinders im Rahmen einer Wartung repariert und/oder ausgetauscht werden muss. Hierdurch kann eine Wartung der Brennkraftmaschine besonders effektiv gestaltet werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Brennkraftmaschine weist die Überwachungseinrichtung weiterhin eine Steuereinheit auf, die ausgebildet ist, ein Messen des Zylinderdrucks durch den jeweiligen Zylinderdrucksensor und/oder ein Ermitteln des Vorliegens einer Anomalie durch die Analyseeinheit in regelmäßigen zeitlichen Abständen auszulösen. Im Rahmen dieser Weiterbildung kann besonders vorteilhaft der Überwachungsaufwand durch den Nutzer und/oder Hersteller der Brennkraftmaschine reduziert werden. Insbesondere kann die Überwachung derart automatisiert werden, dass kein manuelles Auslösen einer Aktivierung der Überwachungseinrichtung notwendig ist. Die regelmäßigen zeitlichen Abstände sind typischerweise ein vorbestimmtes Zeitintervall, wie beispielsweise alle 10 Sekunden, alle 5 Minuten, jede Stunde, alle 2 Stunden. Die Überwachung des Zylinderdrucks eines jeden einzelnen Zylinders der Brennkraftmaschine kann dabei zu jedem Arbeitsspiel erfolgen. Weiterhin können die regelmäßigen zeitlichen Abstände durch ein den Motor betreffendes Ereignis gebildet werden, wie beispielsweise einen Start eines Betriebs der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine oder einem Beenden eines Betriebs einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine.

In einer weiteren Weiterbildung weist die Brennkraftmaschine weiterhin eine Warnvorrichtung mit einer Sendeeinheit auf, wobei die Warnvorrichtung mit der Analyseeinheit verbunden ist und ausgebildet ist, bei Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ein Ausgabesignal zu erzeugen und über die Sendeeinheit auszugeben, insbesondere an ein externes Überwachungsgerät eines

Herstellers und/oder eines Nutzers der Brennkraftmaschine. Vorzugsweise stellt die Überwachung der Brennkraftmaschine durch die Überwachungseinrichtung mithilfe des externen Überwachungsgeräts eine Serviceleistung des Herstellers dar, der den Nutzer der Brennkraftmaschine gegebenenfalls informieren kann, falls eine erhebliche Fehlfunktion des Zylinders der Brennkraftmaschine vorliegt. Das Ausgabesignal kann insbesondere ein optisches oder akustisches Ausgabesignal sein.

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine weist das Verfahren weiterhin ein Berechnen einer aktuellen Zylinderdruckkurve mit aktuellen Zylinderdruckkurven-Koeffizienten aus diskreten Werten des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten des Zylinders auf, wobei das Ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, auf der aktuellen Zylinderdruckkurve basiert.

In einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das Verfahren weiterhin den zusätzlichen Schritt eines Auslösens eines Ausgabesignals auf, falls ein Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wird.

In einer weiteren Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens basiert das Ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, auf vorbestimmten Soll-Druckdaten als adäquate Referenz, insbesondere auf einer vorbestimmten Soll-Druckverlaufskurve.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Diese soll die Ausführungsbeispiele nicht notwendigerweise maßstäblich darstellen, vielmehr ist die Zeichnung, wo zur Erläuterung dienlich, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der aus der Zeichnung unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige Modifikationen und Änderungen betreffend die Form und das Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, ohne von der allgemeinen Idee der Erfindung abzuweichen. Die in der Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Weiterbildung der Erfindung wesentlich sein. Zudem fallen in den Rahmen der Erfindung alle Kombinationen aus zumindest zwei der in der Beschreibung, der Zeichnung und/oder den Ansprüchen offenbarten Merkmale. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im folgenden gezeigten und beschriebenen bevorzugten

Ausführungsform oder beschränkt auf einen Gegenstand, der eingeschränkt wäre im Vergleich zu dem in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand. Bei angegebenen Bemessungsbereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und beliebig einsetzbar und beanspruchbar sein. Der Einfachheit halber sind nachfolgend für
5 identische oder ähnliche Teile oder Teile mit identischer oder ähnlicher Funktion gleiche Bezugszeichen verwendet.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnung.

10

Im Einzelnen zeigt die Zeichnung in:

- FIG. 1 eine Illustration eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine, wobei eine Überwachungseinrichtung der
15 Brennkraftmaschine eine Analyseeinheit und für jeden Zylinder des Motors einen Zylinderdrucksensor aufweist;
- FIG. 2a ein erstes Diagramm mit drei Zylinderdruckkurven und vier durch die Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome;
- FIG. 2b ein zweites Diagramm mit drei Zylinderdruckkurven und zwei durch die
20 Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome;
- FIG. 2c ein drittes Diagramm mit zwei Zylinderdruckkurven und zwei durch die Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome;
- FIG. 3 ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

25

FIG. 1 zeigt eine Illustration eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine 100, wobei eine Überwachungseinrichtung 120 der Brennkraftmaschine 100 eine Analyseeinheit 140 und für jeden Zylinder 115 des Motors 110 einen Zylinderdrucksensor 130 aufweist.

30

Die Überwachungseinrichtung 120 weist entsprechend der Anzahl von Zylindern 115 eine Anzahl von Zylinderdrucksensoren 130 auf, wobei jedem Zylinder aus der Anzahl von Zylindern 115 ein jeweiliger Zylinderdrucksensor 130 zugeordnet ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist jedoch nur ein einziger Zylinderdrucksensor 130 dargestellt. Der zugeordnete

Zylinderdrucksensor 130 ist an dem jeweiligen Zylinder 115 der Brennkraftmaschine 100 angeordnet und ausgebildet, einen Zylinderdruck des jeweiligen Zylinders 115 zu messen, dem Zylinderdruck entsprechende Zylinderdruckdaten zu bestimmen und ein die Zylinderdruckdaten anzeigendes jeweiliges Zylinderdrucksignal 135 auszugeben.

5 Die Analyseeinheit 140 der Überwachungseinrichtung 120 ist ausgebildet das jeweilige Zylinderdrucksignal 135 zu empfangen, insbesondere das einem jeweiligen Zylinder 115 zugeordnete Zylinderdrucksignal 135 zu empfangen. In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Brennkraftmaschine mehr als eine Analyseeinheit auf, 10 beispielsweise eine erste Analyseeinheit für eine A-Seite des Motors und eine zweite Analyseeinheit für eine B-Seite des Motors.

Weiterhin ist die Analyseeinheit 140 ausgebildet, aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten des jeweiligen Zylinders zylinderindividuell zu ermitteln, ob eine Anomalie 15 des Zylinderdrucks vorliegt. Insbesondere ist die Analyseeinheit 140 ausgebildet, zylinderindividuell zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks während einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders im Betrieb des Motors vorliegt. Diese Ermittlung erfolgt für jedes der von den einzelnen Zylinderdrucksensoren 130 ausgegebenen Zylinderdrucksignale 135. Hierbei können die einzelnen Zylinderdrucksignale 135 nacheinander 20 oder parallel zueinander ausgewertet werden. Die Anomalie ist hierbei als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes Symptom bestimmbar. Die Analyseeinheit des dargestellten Ausführungsbeispiels ist ausgebildet, aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten eine gemessene Abhängigkeit zwischen Zylinderdruck und Kurbelwinkel des jeweiligen Zylinders zu ermitteln und einzelne Merkmale dieser gemessenen Abhängigkeit 25 als Symptom zu untersuchen. Im Rahmen einer solchen Untersuchung wird das Symptom mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten in Beziehung gesetzt, insbesondere verglichen. Liegt eine signifikante verhältnismäßige Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten Referenz vor, also wird ein Unterschied zwischen dem Symptom und der adäquaten Referenz festgestellt, die während eines fehlerfreien Betriebs des Motors nicht wahrscheinlich ist, wird auf 30 das Vorliegen der Anomalien, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie, geschlossen. Beispiele für verschiedene Symptome und adäquate Referenzen, die auf das Vorliegen einer Anomalie schließen lassen, sind im Rahmen von FIG. 2a, 2b und 2c vorgestellt.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Überwachungseinrichtung 120 weiterhin eine Speichereinheit 150 auf, die mit der Analyseeinheit 140 verbunden ist und ausgebildet ist, vorbestimmte Soll-Druckdaten zu speichern, die eine Soll-Druckverlaufskurve des Motors 110 kennzeichnen.

5 Die Analyseeinheit 140 ist ausgebildet, auf die vorbestimmten Soll-Druckdaten zuzugreifen und die vorbestimmten Soll-Druckdaten für einen Vergleich mit den gemessenen Zylinderdruckdaten zu nutzen. Bei der Untersuchung einiger Symptome nutzt die Analyseeinheit 140 die vorbestimmten Soll-Druckdaten als adäquate Referenz für den Vergleich des Symptoms und in
10 diesem Rahmen für eine Bestimmung der signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Analyseeinheit 140 zusätzlich ausgebildet, aus diskreten Werten des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten des Zylinders 115 eine aktuelle Zylinderdruckkurve mit aktuellen Zylinderdruckkurven-Koeffizienten zu berechnen
15 und basierend auf der aktuellen Zylinderdruckkurve zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die auf der Speichereinheit gespeicherten vorbestimmten Soll-Druckdaten Daten, die vor einem Betrieb der Brennkraftmaschine 100 der
20 Speichereinheit 150 zugeführt wurden. In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Analyseeinheit 140 weiterhin ausgebildet, aus zu einem früheren Zeitpunkt bestimmten Zylinderdruckdaten während eines fehlerfreien Betriebs des Motors 110 eine Soll-Druckverlaufskurve des Motors 110 zu bestimmen und an die Speichereinheit 150 auszugeben.

25 Schließlich weist die Brennkraftmaschine 100 eine Warnvorrichtung 160 mit einer Sendeeinheit 170 auf. Die Warnvorrichtung ist mit der Analyseeinheit 140 verbunden und ausgebildet, bei Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ein Ausgabesignal 145 zu erzeugen und über die Sendeeinheit 170 auszugeben. Insbesondere wird in dem dargestellten Ausführungsbeispiel das Ausgabesignal 145 an ein externes Überwachungsgerät 180 eines Herstellers der
30 Brennkraftmaschine 100 ausgegeben. Im Rahmen des dargestellten Ausführungsbeispiels zeigt das Ausgabesignal 145 an, an welchem Zylinder 115 aus der Anzahl von Zylindern der Brennkraftmaschine 100 das Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wurde. Weiterhin wird durch das Ausgabesignal 145 eine Motoridentifikationsnummer angezeigt, die eine Zuordnung des Ausgabesignals 145 zu einem das Ausgabesignal 145 auslösenden Motor

110 ermöglicht. Weiterhin zeigt das Ausgabesignal 145 an, ob ein Defekt eines Ventils oder eines Kolbenrings des entsprechenden Zylinders 115 vorliegt, falls eine solche Feststellung durch die Analyseeinheit 140 angesichts des die Anomalie anzeigenden Symptoms getroffen wurde.

5 Das Ausgabesignal 145 löst einen Eintrag innerhalb einer Datenbank 185 des externen Überwachungsgeräts 180 aus, durch den der Hersteller der Brennkraftmaschine 100 informiert wird, dass einer Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt. Der Hersteller kann daraufhin den Nutzer der Brennkraftmaschine informieren und eine Wartung der Brennkraftmaschine 100
10 durchführen. In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Überwachungseinrichtung weiter ausgebildet, das Ausgabesignal an den Nutzer der Brennkraftmaschine auszugeben. Hierdurch kann der Nutzer besonders schnell einen Betrieb der Brennkraftmaschine einstellen, um einen weiteren Schaden der Brennkraftmaschine zu vermeiden.

15 Weiterhin weist die Brennkraftmaschine 100 eine Steuereinheit 190 auf, die ausgebildet ist, ein Messen des Zylinderdrucks durch den jeweiligen Zylinderdrucksensor 130 in regelmäßigen zeitlichen Abständen auszulösen, insbesondere für jeden Zylinderdrucksensor 130 auszulösen. Hierdurch kann ein Aufwand der Überwachung der Brennkraftmaschine 100 für den Nutzer in besonderem Maße reduziert werden. Insbesondere kann auf ein manuelles Auslösen einer
20 Aktivierung der Überwachungseinrichtung 120 gänzlich verzichtet werden.

FIG. 2a zeigt ein erstes Diagramm 200 mit drei Zylinderdruckkurven K1, K2 und K3 und fünf durch die Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome.

25 Auf der x-Achse 210 des ersten Diagramms 200 ist der Kurbelwinkel KW von -360° bis 360° dargestellt, wobei 0° den oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine, an der die Zylinderdruckkurven gemessen wurden, darstellt. Über der y-Achse 220 des ersten Diagramms 200 ist ein gemessener Zylinderdruck in bar dargestellt.

30 Für einen fehlerfreien Motor mit funktionierendem Ventil und 0,3 mm Ventilspiel am Einlassventil wurde die Kurve K1 gemessen, die einen höchsten maximalen Zylinderdruck $p1_max$ bei 0° Kurbelwinkel KW1_max zeigt. Die Kurve K2 wurde für einen Zylinder mit einem Einlassventil, das derart eingestellt war, dass es im geschlossenen Zustand 1 mm geöffnet war, gemessen, die einen verringerten maximalen Zylinderdruck $p2_max$ zeigt, der bei ca. 25°

Kurbelwinkel KW2_max vor dem Totpunkt der Brennkraftmaschine liegt. Schließlich wurde die Zylinderdruckkurve K3 für einen Zylinder mit einem Einlassventil, das derart eingestellt war, dass es im geschlossenen Zustand 2 mm geöffnet war, gemessen, die einen weiter verringerten maximalen Zylinderdruck $p3_max$ zeigt, der bei ca. 35° Kurbelwinkel KW3_max vor dem
5 Totpunkt der Brennkraftmaschine liegt, und folglich weiter verschoben ist gegenüber K1 als der Kurbelwinkel des maximalen Zylinderdrucks der Kurve K2.

Der maximale Zylinderdruck $p1_max$, $p2_max$, $p3_max$ des durch einen Zylinderdrucksensor untersuchten Zylinders stellt ein Symptom dar, durch das auf das Vorliegen einer Anomalie, also
10 einer Fehlfunktion des Motors, geschlossen werden kann. So zeigt ein sinkender maximaler Zylinderdruck $p2_max$, $p3_max$ gemäß den Kurven K2 und K3 eine signifikant verhältnismäßige Größe des maximalen Zylinderdrucks im Vergleich zu einem maximalen Zylinderdrucks bei fehlerfreiem Zylinder, wie in K1 dargestellt. Die Analyseeinheit ist hierbei dazu ausgebildet, aufgrund der großen Differenz zwischen dem maximalen Zylinderdruck der in
15 Kurve K1 erreicht wird und den maximalen Zylinderdrücken, die in den Kurven K2 und K3 erreicht werden, auf das Vorliegen einer Anomalie, insbesondere auf das Vorliegen einer Fehlfunktion eines Einlassventils des Zylinders zu schließen und anzuzeigen.

Weiterhin zeigt das Verschieben des Kurbelwinkels KW1_max, KW2_max, KW3_max, an dem
20 der maximale Zylinderdruck erreicht wird, angesichts der Kurven K1, K2 und K3, dass eine Fehlfunktion des Einlassventils vorliegt. Der Kurbelwinkel, der bei maximalem Zylinderdruck erreicht wird, stellt in diesem Sinne ein Symptom dar, das mit einer adäquaten Referenz für den Kurbelwinkel bei maximalem Zylinderdruck verglichen werden muss, um das Vorliegen einer Anomalie, also einer Fehlfunktion des Motors feststellen zu können.

Zusätzlich oder alternativ zu einer Untersuchung des maximalen Zylinderdrucks zeigt auch der
jeweils indizierte Mitteldruck der Kurven K1, K2 und K3, dass eine Fehlfunktion eines Ventils vorliegt, da der indizierte Mitteldruck der Kurven K2 und K3 deutlich unterhalb eines indizierten Mitteldrucks eines fehlerfreien Zylinders gemäß Kurve K1 liegt.

Die Kurve K1 zeigt einen zeitlichen Verlauf typischer Zylinderdruckdaten im Rahmen eines fehlerfreien Betriebs einer Brennkraftmaschine. Daher kann die Kurve K1 als Soll-Druckverlaufskurve des Motors oder von Motoren mit vergleichbaren Betriebsparametern genutzt werden, um bei deutlicher Abweichung zu der Kurve K1 auf das Vorliegen einer

Anomalie schließen zu können. Ob eine deutliche Abweichung oder Differenz zu den Zylinderdruckdaten der Kurve K1 vorliegt, wird insbesondere im Kurbelwinkel-Bereich einer erhöhten Kompression, also eines erhöhten Zylinderdrucks untersucht. So kann die Form der durch die gemessenen Zylinderdruckdaten erhaltenen Zylinderdruckkurve ein Symptom sein, das man mit einer Soll-Druckverlaufskurve gemäß K1 als adäquate Referenz vergleicht. Ein solcher Vergleich kann beispielsweise durch ein Ermitteln der Fläche zwischen beiden Kurven erfolgen.

Weiterhin können charakteristische hochfrequente Zylinderdruckschwingungen bei einem Kurbelwinkel, von dem bekannt ist, dass das Auslassventil an diesem Kurbelwinkel schließt, ein funktionsfähiges Auslassventil anzeigen. So zeigen K1, K2 und K3 in einem in FIG. 2a dargestellten Diagrammausschnitt 230 ein deutliches Verringern des gemessenen Zylinderdrucks um mehr als 0,2 bar an dem vorbestimmten Kurbelwinkel KW_AV von -350° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine, wodurch auf ein funktionsfähiges Auslassventil geschlossen werden kann.

FIG. 2b zeigt ein zweites Diagramm 250 mit den drei Zylinderdruckkurven K1, K2 und K3 und zwei durch die Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome.

Das zweite Diagramm 250 mit der x-Achse 210 und der y-Achse 220 zeigte wiederum die gleichen Kurven K1, K2 und K3, wobei die x-Achse 210 des zweiten Diagramms 250 den Kurbelwinkel zwischen -200° Kurbelwinkel und 200° Kurbelwinkel anzeigt.

FIG. 2b macht deutlich, dass ein weiteres Symptom ein Grad an Symmetrie von einlaufender und auslaufender Flanke um den oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine darstellt. Während die Kurve K1 nahezu perfekt symmetrisch um den oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine ist (dargestellt durch eine Symmetrieachse 260), zeigen die Kurven K2 und K3 einen hohen Grad an Asymmetrie bezüglich dargestellter potentieller Symmetrieachsen 262, 264, der auf eine Fehlfunktion eines Ventils des Zylinders schließen lässt. Während eine gewisse Asymmetrie im Rahmen baulicher Ungenauigkeiten stets anzutreffen ist, geht im Rahmen einer Fehlfunktion des überwachten Zylinders die Symmetrie in einem signifikanten unverhältnismäßigen Maße verloren, verglichen mit einer baulich bedingten Asymmetrie als adäquate Referenz.

Weiterhin können charakteristische hochfrequente Zylinderdruckschwingungen bei einem Kurbelwinkel KW_EV, von dem bekannt ist, dass das Einlassventil an diesem Kurbelwinkel

schließt, ein funktionsfähiges Einlassventil anzeigen. Ein dargestellter Diagrammausschnitt 270 des zweiten Diagramms 250 zeigt, dass lediglich die Kurve K1, von der bekannt ist, dass das Einlassventil bei -184° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine schließt, ein deutliches sprunghaftes Absenken des Zylinderdruckes um mehr als 0,5 bar bei diesem Kurbelwinkel KW_EV zeigt. Die Kurven K2 und K3 zeigen hingegen kein solches Absenken, so dass auf ein nicht fehlerfreies Schließen der Einlassventile der gemäß der Kurven K2 und K3 gemessenen Zylinder entschieden werden kann.

Aus der Form der Kurven, die sich bei einem Schließen der Einlass- und/oder Auslassventile der Zylinder des Motors ergeben, kann zusätzlich oder alternativ auf ein vorliegendes Ventilspiel der entsprechenden Ventile geschlossen werden. So zeigt die Kurve K1 ein Ventilspiel von 0,3 mm. Sollte ein Ventilspiel von 0 mm vorliegen oder nahe 0 mm, würde das Ventil dagegen immer früher öffnen und später schließen, was anhand der Kurve durch einen späteren Abfall des Zylinderdruckes erkennbar wäre. Mithin bildet eine Lage des charakteristischen Musters für das Schließen des Einlassventils und/oder des Auslassventils ein weiteres Symptom, durch das auf eine Anomalie, nämlich ein gegebenenfalls zu großes Ventilspiel, geschlossen werden kann.

FIG. 2c zeigt ein drittes Diagramm 280 mit der x-Achse 210 und der y-Achse 220, mit den zwei Zylinderdruckkurven K2 und K3 und zwei durch die Zylinderdruckkurven dargestellte Symptome.

Das dritte Diagramm 280 zeigt die Kurven K2 und K3, die bereits aus dem ersten und zweiten Diagramm bekannt sind.

Als weiteres Symptom für ein fehlerhaft funktionierendes Einlassventil zeigen die Kurven K2 und K3 einen sprunghaften Anstieg einer Krümmung, der sich in einem jeweiligen Knick 284, 288 der gemessenen Zylinderdruckkurve bemerkbar macht. Die Kurve K2 zeigt diesen Knick 284 bei etwa 10° Kurbelwinkel nach dem oberen Totpunkt. Die Kurve K3 zeigt diesen Knick 288 bei etwa -15° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt jedoch auf einer auslaufenden Flanke der entsprechenden Zylinderdruckkurve.

Ein derartiger Knick 284, 288 und/oder ein Verschieben des Knickes 284, 288 im Laufe der Zeit zu niedrigeren Kurbelwinkel, stellt ein Symptom dar, durch das auf das Vorliegen einer Anomalie, nämlich eines fehlerhaften Zylinderventils, geschlossen werden kann.

Zusätzlich oder alternativ kann eine Anomalie des Zylinderdrucks auch basierend darauf ermittelt werden, dass ein minimaler Zylinderdruck $p2_min$, $p3_min$ nach einem Erreichen eines oberen Totpunkts der Brennkraftmaschine im Vergleich zu einem die adäquate Referenz bildenden minimalen Zylinderdruck vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine verringert ist. Die Kurve K2 zeigt eine deutliche Verringerung des minimalen Zylinderdrucks $p2_min$ im Vergleich zu einem minimalen Zylinderdrucks vor dem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine. K3 lässt einen derart verringerten minimalen Zylinderdrucks $p3_min$ ebenfalls erkennen.

Vorzugsweise ist die Analyseeinheit einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine ausgebildet, verschiedene Symptome einer aktuellen sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve durch einen Vergleich mit einer adäquaten Referenz auszuwerten. Durch verschiedene Anzeichen einer Anomalie, nämlich mehrere Symptome, die eine signifikante verhältnismäßige Größe im Vergleich zu einer adäquaten Referenz aufweisen, kann diese Anomalie besonders verlässlich angezeigt werden.

FIG. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens 300.

Das erfindungsgemäße Verfahren 300 zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine mit einer Anzahl von Zylindern weist die im Folgenden erläuterten vier Verfahrensschritte 310, 320, 330, 340 auf.

Ein erster Verfahrensschritt 310 umfasst ein Messen eines jeweiligen Zylinderdrucks für alle Zylinder der Brennkraftmaschine.

In einem nächsten Verfahrensschritt 320 werden entsprechende Zylinderdruckdaten bestimmt und ein die Zylinderdruckdaten anzeigendes Zylinderdrucksignal ausgegeben.

Ein darauffolgender Verfahrensschritt 330 umfasst ein Empfangen des jeweiligen Zylinderdrucksignals und ein zylinderindividuelles Ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, anhand eines zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten, wobei die Anomalie bestimmbar ist als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes

Symptom, wobei das Symptom verglichen wird mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten, und wobei aus einer signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten Referenz auf das Vorliegen der Anomalie, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie, geschlossen wird.

5 In einem weiteren Verfahrensschritt 340 wird die ermittelte Anomalie einem Zylinder des Motors zugeordnet.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren führt die Verfahrensschritte 310, 320 und 330 vorzugsweise wiederholt in regelmäßigen zeitlichen Abständen aus, zumindest bis eine Anomalie ermittelt wird oder der Betrieb der Brennkraftmaschine eingestellt wird.

15 Im Rahmen des letzten Verfahrensschrittes 340 wird vorzugsweise auch das Vorliegen der Anomalie zusammen mit dem zugeordneten Zylinder des Motors angezeigt. Dieses Anzeigen führt typischerweise zu einem Auslösen eines Ausgabesignals, durch das ein Hersteller und/oder ein Nutzer der Brennkraftmaschine darüber informiert werden, das eine präventive Wartung empfohlen wird, insbesondere zum Austauschen oder zur Wartung von Ventilen oder Kolbenringen des Motors.

BEZUGSZEICHENLISTE:

	100	Brennkraftmaschine
	110	Motor
5	115	Zylinder
	120	Überwachungseinrichtung
	130	Zylinderdrucksensor
	135	Zylinderdrucksignal
	140	Analyseeinheit
10	145	Ausgabesignal
	150	Speichereinheit
	160	Warnvorrichtung
	170	Sendeeinheit
	180	externes Überwachungsgerät
15	185	Datenbank
	190	Steuereinheit
	200	erstes Diagramm
	210	x-Achse
	220	y-Achse
20	230	Diagrammausschnitt des ersten Diagramms
	250	zweites Diagramm
	260	Symmetrieachse
	262, 264	potentielle Symmetrieachse
	270	Diagrammausschnitt des zweiten Diagramms
25	280	drittes Diagramm
	284, 288	Knick
	300	Verfahren
	310, 320, 330	Schritte des Verfahrens
	340	
30		
	p1_max	maximaler Zylinderdruck der Kurve K1
	p2_max	maximaler Zylinderdruck der Kurve K2
	p3_max	maximaler Zylinderdruck der Kurve K3
	p2_min	minimaler Zylinderdruck nach oberen Totpunkt der Kurve K2

p3_min	minimaler Zylinderdruck nach oberen Totpunkt der Kurve K3
K1, K2, K3	Zylinderdruckkurve
KW1_max	Kurbelwinkel bei maximalem Zylinderdruck der Kurve K1
KW2_max	Kurbelwinkel bei maximalem Zylinderdruck der Kurve K2
5 KW3_max	Kurbelwinkel bei maximalem Zylinderdruck der Kurve K3
KW_AV	vorbestimmter Kurbelwinkel für Schließen des Auslassventils
KW_EV	vorbestimmter Kurbelwinkel für Schließen des Einlassventils

ANSPRÜCHE

1. Brennkraftmaschine (100), aufweisend einen Motor (110) mit einer Anzahl von Zylindern
5 (115) und eine Überwachungseinrichtung (120) zum Überwachen eines Betriebs der Brennkraftmaschine (100), dadurch gekennzeichnet, dass

- für jeden Zylinder (115) aus der Anzahl von Zylindern ein jeweiliger Zylinderdrucksensor
10 (130) der Überwachungseinrichtung (120) an dem jeweiligen Zylinder (115) der Brennkraftmaschine (100) angeordnet ist und ausgebildet ist, einen Zylinderdruck des jeweiligen Zylinders (115) zu messen, dem Zylinderdruck entsprechende Zylinderdruckdaten zu bestimmen und ein die Zylinderdruckdaten anzeigendes jeweiliges Zylinderdrucksignal (135) auszugeben;

- eine Analyseeinheit (140) der Überwachungseinrichtung (120) ausgebildet ist, das jeweilige
15 Zylinderdrucksignal (135) zu empfangen und aus einem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten des jeweiligen Zylinders (115) zylinderindividuell für jeden Zylinder zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, insbesondere ob eine Anomalie des Zylinderdrucks während einer Kompressionsphase des jeweiligen Zylinders (115) im Betrieb des Motors (110) vorliegt, wobei

20 die Anomalie bestimmbar ist als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes Symptom,

das Symptom verglichen wird mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten, und
aus einer signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten Referenz auf das Vorliegen der Anomalie, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie,
25 geschlossen wird, und wobei

die Analyseeinheit (140) weiter ausgebildet ist, die Anomalie dem jeweiligen Zylinder (115) des Motors (110) zuzuordnen.

2. Brennkraftmaschine (100) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
30 Analyseeinheit (140) weiter ausgebildet ist, aus diskreten Werten des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten des Zylinders (115) eine aktuelle Zylinderdruckkurve (K1, K2, K3) mit aktuellen Zylinderdruckkurven-Koeffizienten zu berechnen und basierend auf der

aktuellen Zylinderdruckkurve (K1, K2, K3) zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt.

3. Brennkraftmaschine (100) gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 - 5 - die Überwachungseinrichtung (120) weiterhin eine Speichereinheit (150) aufweist, die mit der Analyseeinheit (140) verbunden ist und die ausgebildet ist, vorbestimmte Soll-Druckdaten zu speichern, die eine Soll-Druckverlaufskurve des Motors (110) kennzeichnen, wobei
 - die Analyseeinheit (140) weiterhin ausgebildet ist, auf die vorbestimmten Soll-Druckdaten zuzugreifen und die vorbestimmten Soll-Druckdaten als adäquate Referenz für den Vergleich des
 - 10 Symptoms zu nutzen.
4. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines
- 15 symptomatischen maximalen Zylinderdruck des Zylinders im Vergleich zu einer die adäquate Referenz bildenden früheren Messung des Zylinderdrucks.
5. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie
- 20 des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verschiebung einer symptomatischen zeitlichen Lage eines maximalen Zylinderdrucks relativ zu einem die adäquate Referenz bildenden oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine hin zu einem negativen Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine.
- 25 6. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines symptomatischen indizierten Mitteldrucks des Zylinders im Vergleich zu einer die adäquate Referenz bildenden früheren Messung des indizierten Mitteldrucks.
- 30 7. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer Verringerung eines symptomatischen minimalen Zylinderdrucks nach einem Erreichen eines oberen Totpunkts der

Brennkraftmaschine im Vergleich zu einem die adäquate Referenz bildenden minimalen Zylinderdruck vor einem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine.

- 5 8. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einem Erkennen einer starken Vergrößerung einer symptomatischen Krümmung einer auslaufenden Flanke einer sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve nach einem oberen Totpunkt der Brennkraftmaschine.
- 10 9. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, aus einer Verringerung eines symptomatischen Grades an Symmetrie einer sich aus dem zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten ergebenden Zylinderdruckkurve bezüglich eines oberen Totpunktes der Brennkraftmaschine zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt.
- 15 10. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) weiterhin ausgebildet ist, basierend auf den Zylinderdruckdaten und auf einem vorbestimmten Hubvolumen des Zylinders der Brennkraftmaschine für mindestens zwei verschiedene Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine, einen symptomatischen aktuellen Polytropen-Exponent des Zylinders der Brennkraftmaschine zu bestimmen und dadurch zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt.
- 20 11. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) ausgebildet ist, zu ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, basierend auf einer Analyse eines durch den zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten gebildeten symptomatischen Druckverlaufsmusters zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlass- und/oder Auslassventils.
- 25 12. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) dazu ausgebildet ist, bei Vorliegen einer Anomalie zusätzlich eine Analyse eines durch den zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten gebildeten symptomatischen Druckverlaufsmusters zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlass- und/oder Auslassventils des Zylinders auszuführen und basierend darauf der Anomalie
- 30

eine Anomalieursache zuzuordnen, insbesondere zu unterscheiden, ob ein Defekt eines Ventils oder eines Kolbenrings vorliegt.

5 13. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit (140) dazu ausgebildet ist, ein Ausgabesignal (145) auszulösen, falls ein Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wird.

10 14. Brennkraftmaschine (100) gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgabesignal (145) anzeigt, an welchem Zylinder aus der Anzahl von Zylindern das Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ermittelt wurde.

15 15. Brennkraftmaschine (100) gemäß Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgabesignal (145) neben dem Vorliegen der Anomalie auch eine Anomalieursache anzeigt, insbesondere anzeigen, ob ein Defekt eines Ventils oder eines Kolbenrings vorliegt.

20 16. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung (120) weiterhin eine Steuereinheit (190) aufweist, die ausgebildet ist, ein Messen des Zylinderdrucks durch den jeweiligen Zylinderdrucksensor (130) und/oder ein Ermitteln des Vorliegens einer Anomalie durch die Analyseeinheit in regelmäßigen zeitlichen Abständen auszulösen.

25 17. Brennkraftmaschine (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkraftmaschine weiterhin eine Warnvorrichtung (160) mit einer Sendeeinheit (170) aufweist, wobei die Warnvorrichtung (160) mit der Analyseeinheit (140) verbunden ist und ausgebildet ist, bei Vorliegen einer Anomalie des Zylinderdrucks ein Ausgabesignal (145) zu erzeugen und über die Sendeeinheit auszugeben, insbesondere an ein externes Überwachungsgerät eines Herstellers und/oder eines Nutzers der Brennkraftmaschine auszugeben.

30 18. Verfahren (300) zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine mit einer Anzahl von Zylindern, insbesondere einer Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 17, aufweisend die Schritte:

- Messen eines jeweiligen Zylinderdrucks für alle Zylinder der Brennkraftmaschine;

- Bestimmen von entsprechenden Zylinderdruckdaten und Ausgeben eines die Zylinderdruckdaten anzeigenden Zylinderdrucksignals;
- 5 - Empfangen des jeweiligen Zylinderdrucksignals und zylinderindividuelles Ermitteln ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, anhand eines zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten, wobei
- die Anomalie bestimmbar ist als ein im zeitlichen Verlauf der Zylinderdruckdaten auftretendes Symptom,
- 10 das Symptom verglichen wird mit einer adäquaten Referenz der Zylinderdruckdaten, und
- aus einer signifikanten verhältnismäßigen Größe des Symptoms im Vergleich zur adäquaten Referenz auf das Vorliegen der Anomalie, insbesondere Ausmaß und Art der Anomalie, geschlossen wird, und
- 15 - Zuordnen der ermittelten Anomalie zu einem Zylinder des Motors.
19. Verfahren gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren weiterhin ein Berechnen einer aktuellen Zylinderdruckkurve mit aktuellen Zylinderdruckkurven-Koeffizienten aus diskreten Werten des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Zylinderdruckdaten des Zylinders
- 20 aufweist, und wobei das Ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, auf der aktuellen Zylinderdruckkurve basiert.
20. Verfahren gemäß Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren weiterhin ein Auslösen eines Ausgabesignals (145) aufweist, falls ein Vorliegen einer Anomalie
- 25 des Zylinderdrucks ermittelt wird.
21. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Ermitteln, ob eine Anomalie des Zylinderdrucks vorliegt, auf vorbestimmten Soll-Druckdaten als adäquate Referenz basiert, insbesondere auf einer vorbestimmten Soll-Druckverlaufskurve.
- 30 22. Software, die Programmmittel aufweist, mit einem Modul, das dazu ausgebildet ist, ein Verfahren zum Überwachen eines Betriebs einer Brennkraftmaschine gemäß einem der Ansprüche 18 bis 21 zu steuern.

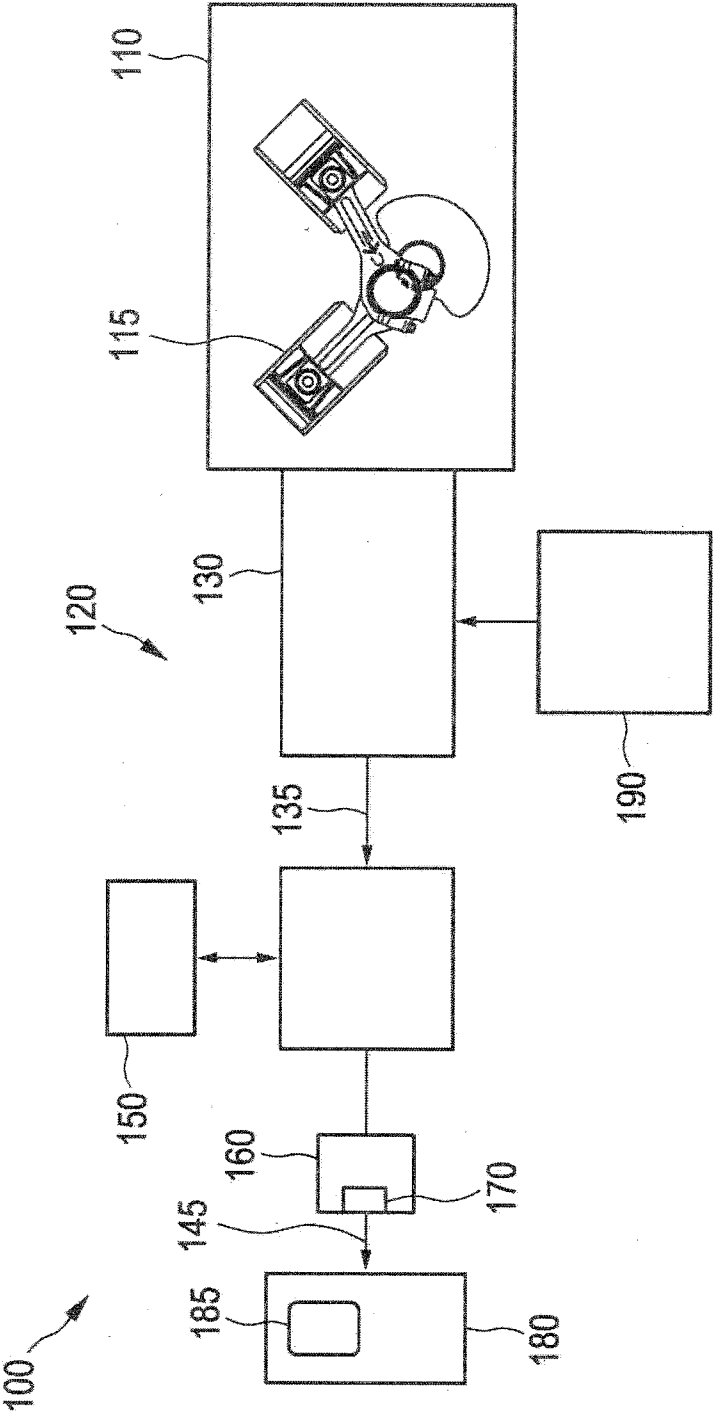


FIG. 1

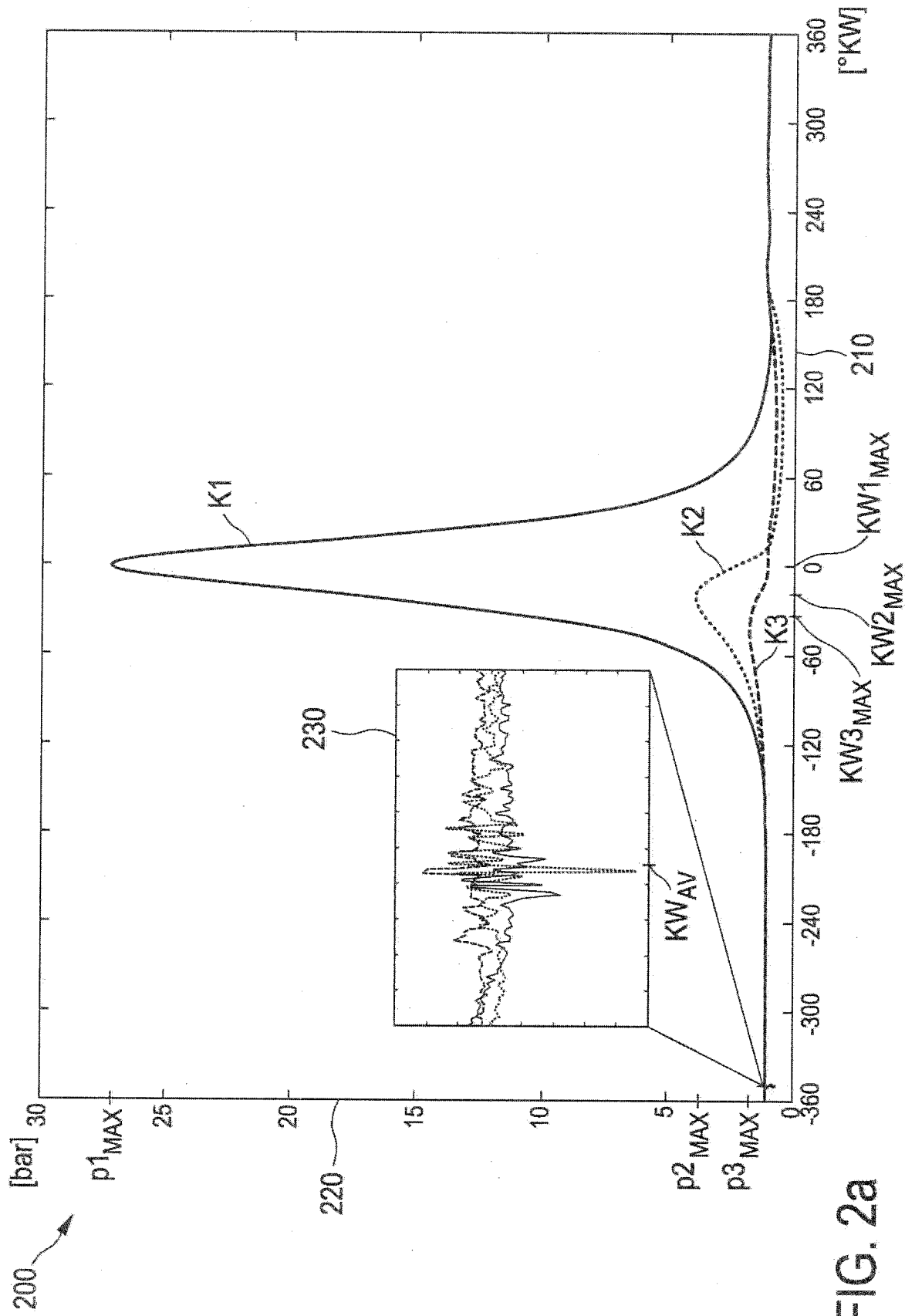


FIG. 2a

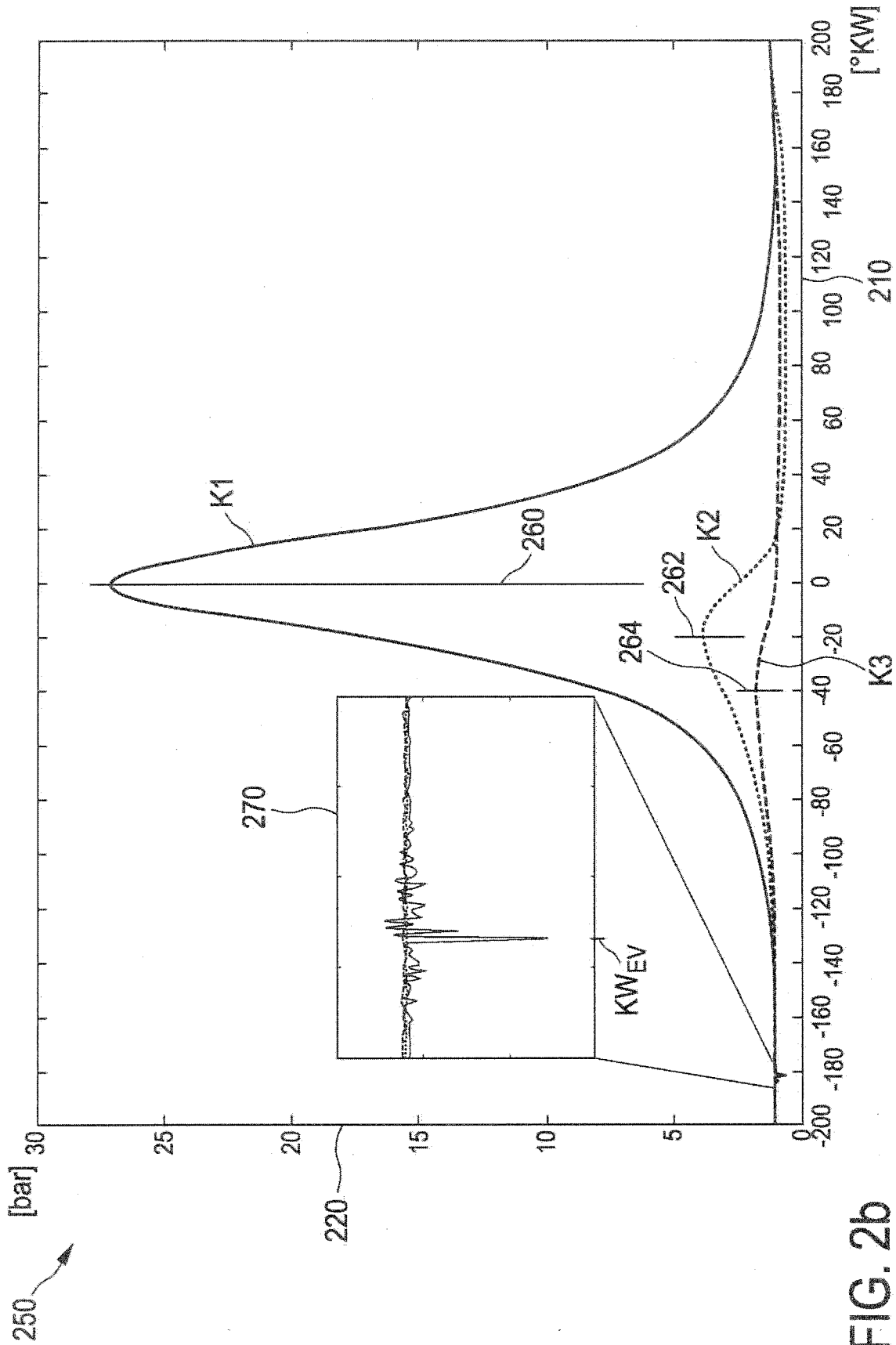


FIG. 2b

4/5

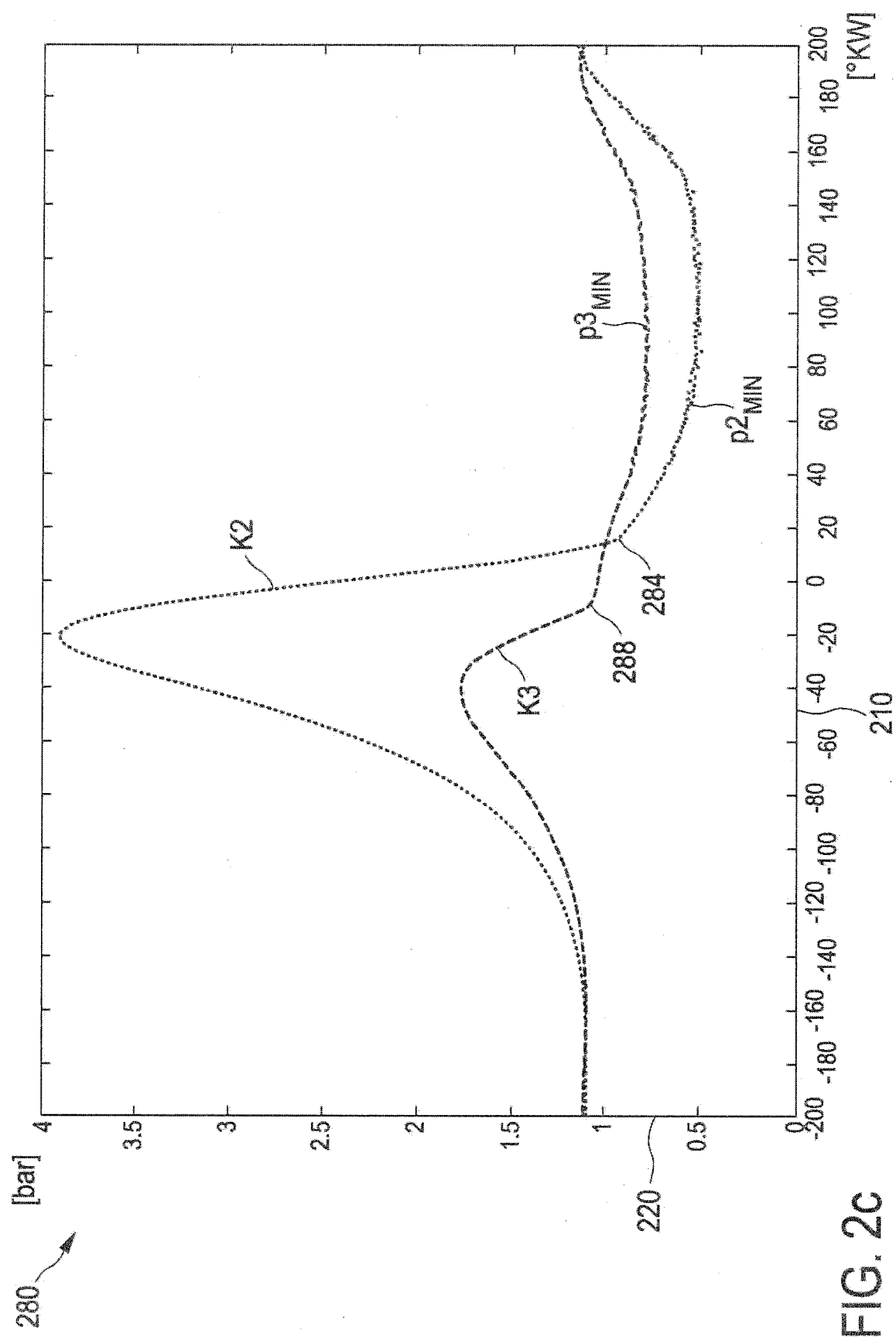


FIG. 2c

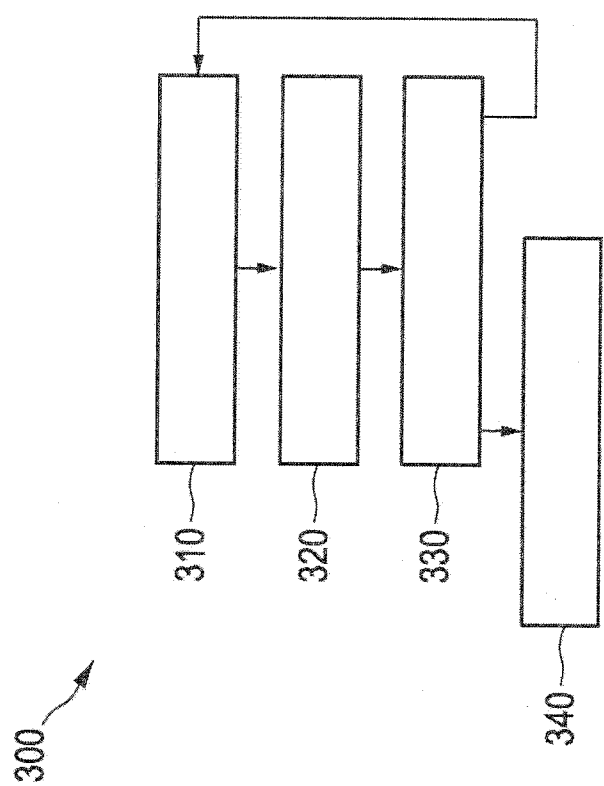


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2018/059938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02D41/22 F02D35/02
ADD.

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)

F02D F01L

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.
X	DE 103 27 687 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5 January 2005 (2005-01-05) abstract; claims 1,5-7; figure 2 paragraph [0015] - paragraph [0016] paragraph [0025] - paragraph [0029] -----	1-3,10, 16,18, 19,22
X	WO 02/095191 A2 (RICARDO CONSULTING ENG [GB]; TRUSCOTT ANTHONY J [GB]; NOBLE ANDREW D []) 28 November 2002 (2002-11-28) abstract; figures 4a,4b,9,10,19 page 25, line 20 - page 31, line 8 -----	1,2,6, 10-12, 15,16, 18-22
X	DE 10 2004 048330 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 6 April 2006 (2006-04-06) abstract; figure 2 paragraph [0033] - paragraph [0040] ----- -/-	1,5,9, 18,22



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

4 July 2018

Date of mailing of the international search report

17/07/2018

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Van der Staay, Frank

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/059938

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2014 207270 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 15 October 2015 (2015-10-15) abstract; claims 1-4 paragraph [0008] - paragraph [0010] paragraph [0014] paragraph [0018] paragraph [0024] -----	1-6, 11-14, 16-22
X	US 2003/188714 A1 (YAMAMOTO TAKAYUKI [JP] ET AL) 9 October 2003 (2003-10-09) abstract; figures 4,16a,16b,24 paragraph [0142] - paragraph [0159] paragraph [0180] - paragraph [0208] paragraph [0240] - paragraph [0247] -----	1-4,7,8, 11,16, 18,19, 21,22
X	US 2015/233289 A1 (YOUNKINS MATTHEW A [US] ET AL) 20 August 2015 (2015-08-20) abstract; claims 1,2,7; figure 6 paragraph [0039] - paragraph [0043] paragraph [0051] - paragraph [0056] paragraph [0069] -----	1,2,18, 19,22
X	US 2002/066445 A1 (THOMAS ERIC D [US]) 6 June 2002 (2002-06-06) abstract; claims 1,3,4; figure 4 paragraph [0009] - paragraph [0010] paragraph [0025] paragraph [0034] -----	1,18,22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/059938

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10327687	A1	05-01-2005	NONE
WO 02095191	A2	28-11-2002	AU 2002256804 A1 03-12-2002 CN 1543535 A 03-11-2004 EP 1458955 A2 22-09-2004 JP 2004536250 A 02-12-2004 JP 2009079594 A 16-04-2009 US 2005039721 A1 24-02-2005 WO 02095191 A2 28-11-2002
DE 102004048330	A1	06-04-2006	DE 102004048330 A1 06-04-2006 FR 2876156 A1 07-04-2006 US 2006086176 A1 27-04-2006
DE 102014207270	A1	15-10-2015	NONE
US 2003188714	A1	09-10-2003	CA 2411976 A1 05-12-2002 CN 1462335 A 17-12-2003 CN 101025124 A 29-08-2007 EP 1375890 A1 02-01-2004 EP 2479412 A2 25-07-2012 JP 4138491 B2 27-08-2008 JP WO2002079629 A1 22-07-2004 KR 20030036206 A 09-05-2003 US 2003188714 A1 09-10-2003 WO 02079629 A1 10-10-2002
US 2015233289	A1	20-08-2015	NONE
US 2002066445	A1	06-06-2002	AU 3417402 A 18-06-2002 CA 2428049 A1 13-06-2002 DE 10196969 B3 07-08-2014 DE 10196969 T1 20-11-2003 GB 2388925 A 26-11-2003 JP 2004515685 A 27-05-2004 US 2002066445 A1 06-06-2002 WO 0246591 A1 13-06-2002

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02D41/22 F02D35/02
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02D F01L

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.
X	DE 103 27 687 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5. Januar 2005 (2005-01-05) Zusammenfassung; Ansprüche 1,5-7; Abbildung 2 Absatz [0015] - Absatz [0016] Absatz [0025] - Absatz [0029] -----	1-3,10, 16,18, 19,22
X	WO 02/095191 A2 (RICARDO CONSULTING ENG [GB]; TRUSCOTT ANTHONY J [GB]; NOBLE ANDREW D []) 28. November 2002 (2002-11-28) Zusammenfassung; Abbildungen 4a,4b,9,10,19 Seite 25, Zeile 20 - Seite 31, Zeile 8 ----- -/-	1,2,6, 10-12, 15,16, 18-22



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

4. Juli 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/07/2018

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

Van der Staay, Frank

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2004 048330 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 6. April 2006 (2006-04-06) Zusammenfassung; Abbildung 2 Absatz [0033] - Absatz [0040] -----	1,5,9, 18,22
X	DE 10 2014 207270 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 15. Oktober 2015 (2015-10-15) Zusammenfassung; Ansprüche 1-4 Absatz [0008] - Absatz [0010] Absatz [0014] Absatz [0018] Absatz [0024] -----	1-6, 11-14, 16-22
X	US 2003/188714 A1 (YAMAMOTO TAKAYUKI [JP] ET AL) 9. Oktober 2003 (2003-10-09) Zusammenfassung; Abbildungen 4,16a,16b,24 Absatz [0142] - Absatz [0159] Absatz [0180] - Absatz [0208] Absatz [0240] - Absatz [0247] -----	1-4,7,8, 11,16, 18,19, 21,22
X	US 2015/233289 A1 (YOUNKINS MATTHEW A [US] ET AL) 20. August 2015 (2015-08-20) Zusammenfassung; Ansprüche 1,2,7; Abbildung 6 Absatz [0039] - Absatz [0043] Absatz [0051] - Absatz [0056] Absatz [0069] -----	1,2,18, 19,22
X	US 2002/066445 A1 (THOMAS ERIC D [US]) 6. Juni 2002 (2002-06-06) Zusammenfassung; Ansprüche 1,3,4; Abbildung 4 Absatz [0009] - Absatz [0010] Absatz [0025] Absatz [0034] -----	1,18,22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/059938

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10327687	A1	05-01-2005	KEINE
WO 02095191	A2	28-11-2002	AU 2002256804 A1 03-12-2002 CN 1543535 A 03-11-2004 EP 1458955 A2 22-09-2004 JP 2004536250 A 02-12-2004 JP 2009079594 A 16-04-2009 US 2005039721 A1 24-02-2005 WO 02095191 A2 28-11-2002
DE 102004048330	A1	06-04-2006	DE 102004048330 A1 06-04-2006 FR 2876156 A1 07-04-2006 US 2006086176 A1 27-04-2006
DE 102014207270	A1	15-10-2015	KEINE
US 2003188714	A1	09-10-2003	CA 2411976 A1 05-12-2002 CN 1462335 A 17-12-2003 CN 101025124 A 29-08-2007 EP 1375890 A1 02-01-2004 EP 2479412 A2 25-07-2012 JP 4138491 B2 27-08-2008 JP WO2002079629 A1 22-07-2004 KR 20030036206 A 09-05-2003 US 2003188714 A1 09-10-2003 WO 02079629 A1 10-10-2002
US 2015233289	A1	20-08-2015	KEINE
US 2002066445	A1	06-06-2002	AU 3417402 A 18-06-2002 CA 2428049 A1 13-06-2002 DE 10196969 B3 07-08-2014 DE 10196969 T1 20-11-2003 GB 2388925 A 26-11-2003 JP 2004515685 A 27-05-2004 US 2002066445 A1 06-06-2002 WO 0246591 A1 13-06-2002