

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50173/2023
(22) Anmeldetag: 09.03.2023
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2025

(51) Int. Cl.: **F02D 35/02** (2006.01)
F02D 41/22 (2006.01)
F02D 41/28 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 1744043 A1
WO 2022090026 A1
US 2018112633 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)
(72) Erfinder:
Scheidel Stefan
8020 Graz (AT)
Gande Marie-Sophie Dipl.-Ing.
8101 Gratkorn (AT)
Kunimura Yasuyuki
8074 Raaba-Grambach (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Brennkraftmaschine

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Verbrennung in einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine mit einer Kurbelwelle, umfassend die Schritte:

- Messen eines Rohsignals (12, 16) des Zylinderdrucks in einem Brennraum der Brennkraftmaschine über einen Messzeitraum, der mehrere aufeinander folgende Brennzyklen umfasst;
- Berechnen des indizierten Mitteldrucks (14, 18) aus dem Rohsignal (12, 16) für jeden der Brennzyklen;
- Ermitteln eines zeitlichen Verlaufs des indizierten Mitteldrucks (20) aus den in Schritt b) berechneten indizierten Mitteldrücken (14, 18);
- Berechnen eines Hochpass-gefilterten Signals (24) aus dem in Schritt c) ermittelten zeitlichen Verlauf des indizierten Mitteldrucks (20), wobei alle unterhalb einer Grenzfrequenz liegenden Anteile des zeitlichen Verlauf des indizierten Mitteldrucks (20) gedämpft werden;
- Berechnen eines Werts eines Stabilitätsparameters (S) als ein Streuungsmaß des Hochpass-gefilterten Signals (24), insbesondere als eine Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals (24);

- Prüfen, ob der Wert des Stabilitätsparameters (S) einen zuvor festgelegten Schwellwert (SW) überschreitet; und g) Bewerten der Brennstabilität aus dem Ergebnis der in Schritt f) vorgenommenen Prüfung.

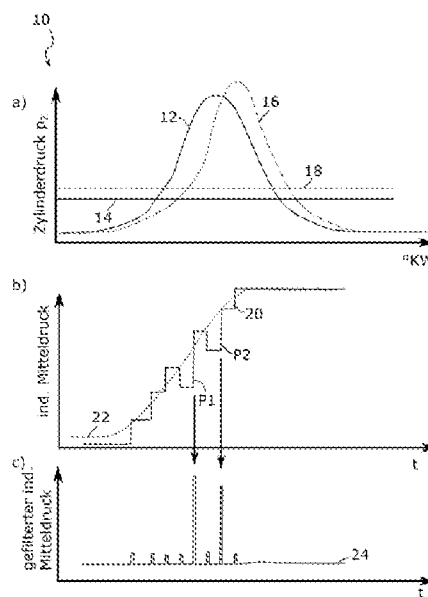


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN ZUR BEWERTUNG DER BRENNSTABILITÄT EINER BRENNKRAFTMASCHINE

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Verbrennung in einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine und eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

[0002] Die vorliegende Erfindung beruht auf Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Verbrennung in einem Brennraum einer Brennkraftmaschine.

[0003] Es ist bekannt, dass die Brennstabilität einer Verbrennung, unabhängig vom Kraftstoff bewertet werden kann, indem die Standardabweichung des indizierten Mitteldrucks (IMEP) über eine definierte Anzahl an Verbrennungszyklen berechnet wird. Hierbei werden 2 oder mehr Verbrennungszyklen miteinander verglichen und die Streubreite des Mitteldrucks berechnet. Die Anzahl der zu vergleichenden Zyklen definieren das Vergleichsfenster. Eine solche Berechnung liefert in einem eingeschwungen, stationären Betriebszustand sinnvolle Ergebnisse. In anderen bekannten Verfahren werden statt des IMEP auch andere Betriebsparameter des Verbrennungsmotors zur Bewertung der Brennstabilität herangezogen.

[0004] Beispielsweise offenbart Dokument EP 1348856 A1 ein Verfahren zur Berechnung der Stabilität einer Verbrennung auf Grundlage von detektierten Abweichungen der Rotationsfrequenz der Kurbelwelle von einer mittleren Abweichung.

[0005] Dokument US2007/0021903 A1 offenbart ein Verfahren zur Überwachung der Verbrennungsstabilität einer Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten: Bestimmen der absoluten Abweichung e des angezeigten mittleren effektiven Drucks in Bezug auf ihren Sollwert, oder alternativ Bestimmen der relativen Änderung Δe dieser Abweichung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verbrennungszyklen k , $k+1$ und Vergleichen der ermittelten Abweichung e oder der Änderung Δe mit einem vorbestimmten, vom Motorbetriebspunkt abhängigen Schwellwert, um zu entscheiden, ob die Verbrennung stabil ist oder nicht.

[0006] Dokument EP 1744043 A1 offenbart ein Verfahren zur Überwachung der Verbrennungsstabilität eines Verbrennungsmotors, speziell für Motoren mit homogener Ladungszündung. Das Verfahren misst entweder die Änderung des mittleren effektiven Drucks oder des Drehmoments sowie die Winkelbeschleunigung der Kurbelwelle zwischen zwei Verbrennungszyklen. Diese Messwerte werden dann mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen, um festzustellen, ob die Verbrennung stabil ist. Ein Überschreiten des Schwellenwerts signalisiert eine instabile Verbrennung, während ein Wert innerhalb des Schwellenwerts auf eine stabile Verbrennung hinweist.

[0007] Dokument WO 2022090026 A1 offenbart ein Verfahren zur Bestimmung eines Verbrennungsstabilitätsindikators, der den VOC-Variationskoeffizienten eines Verhältnisses des angezeigten mittleren Drucks geteilt durch das Produkt aus der eingespritzten Kraftstoffmenge und dem Wirkungsgrad des Motors bestimmt.

[0008] Schließlich offenbart Dokument US 2018112633 A1 einen Mehrzylinder-Ottomotor, der über mehrere erste und zweite Einlassventile verfügt, die zwischen dem Lufteinlasssystem und den entsprechenden Zylindern des Motors angeordnet sind. Zudem ist ein zylinderspezifisches Abgasrückführungssystem integriert, das einen Abgaslauf zwischen den Auslassventilen eines Zylinders und dem Lufteinlasssystem verbindet. Ein steuerbares Einlassventilaktivierungssystem ist dazu eingerichtet, die Öffnungszeiten der zahlreichen ersten und zweiten Einlassventile zu kontrollieren. Ein mit dem Motor und dem Ventilaktivierungssystem verbundener Controller umfasst eine Befehlsfolge zur Überwachung des Motorbetriebs und zur Steuerung der Ventilöffnungen, um eine Zylindermischung zu erzeugen, die bei einem bestimmten Motorbetriebspunkt für Geschwindigkeit und Last eine stabile Verbrennung gewährleistet.

[0009] Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass diese während sich veränderndem Betriebszuständen nicht anwendbar sind. Sobald sich ein Betriebszustand ändert, ändert sich

auch der zu bewertende Mitteldruck, was eine Abweichung zu den vorherigen Zyklen bedeutet, und somit zu einer erhöhten Standardabweichung über das gewählte Vergleichsfenster führt. Die Änderung hat jedoch ihre Ursache in der Änderung des Betriebszustands und nicht in einer schlechteren Brennstabilität.

[0010] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in einfacher Weise ein Verfahren bereitzustellen, mit dem eine Brennstabilität einer Verbrennung auch über sich ändernde Betriebszustände bewertet werden kann.

[0011] Die voranstehende Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst, durch ein Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität mit den Merkmalen des Anspruchs 1, gemäß einem zweiten Aspekt durch ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 9 und gemäß einem dritten Aspekt durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0012] Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung soll ein Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Verbrennung in einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine mit einer Kurbelwelle ermöglichen, die Brennstabilität auch bei sich verändernden Betriebszuständen zu bestimmen. Ein solches Verfahren zeichnet sich durch die folgenden Schritte aus:

[0013] a) Messen eines Rohsignals des Zylinderdrucks in einem Brennraum der Brennkraftmaschine über einen Messzeitraum, der mehrere aufeinander folgende Brennzyklen umfasst;

[0014] b) Berechnen des indizierten Mitteldrucks aus dem Rohsignal für jeden der Brennzyklen;

[0015] c) Ermitteln eines zeitlichen Verlaufs des indizierten Mitteldrucks aus den in Schritt b) berechneten indizierten Mitteldrücken;

[0016] d) Berechnen eines Hochpass-gefilterten Signals aus dem in Schritt c) abgeleiteten Rohsignal, wobei alle unterhalb einer Grenzfrequenz liegenden Werte des Rohsignals gedämpft werden;

[0017] e) Berechnen eines Werts eines Stabilitätsparameters als ein Streuungsmaß des Hochpass-gefilterten Signals (24), insbesondere als eine Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals

[0018] f) Prüfen, ob der Wert des Stabilitätsparameters die Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals einen festgelegten Schwellwert überschreitet; und

[0019] g) Bewerten der Brennstabilität aus dem Ergebnis der in Schritt f) vorgenommenen Prüfung.

[0020] Der Kerngedanke des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass die Brennstabilität allein aus einer Auswertung von hochfrequenten Anteilen des indizierten Mitteldrucks ermittelt werden kann, wobei überraschenderweise durch dieses Verfahren eine zuverlässige und genaue Bestimmung der Brennstabilität sowohl in statischen Betriebszuständen als auch in dynamischen Übergängen zwischen unterschiedlichen Betriebszuständen erfolgen kann, ohne dass ein direkter Vergleich von zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommenen Rohsignalen des Zylinderdrucks durchgeführt werden muss. Hierdurch lassen sich Brennkraftmaschinen effizienter betreiben, Ursachen für instabile Verbrennungsprozesse identifizieren, Schädigungen an der Brennkraftmaschine reduzieren und die Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine anpassen.

[0021] Bei einer Verbrennung in einer Brennkraftmaschine wird chemische Energie in mechanische Arbeit umgewandelt, indem in einem Hubkolbenmotor in einem Brennraum eines Zylinders

ein zündfähiges Gemisch aus Kraftstoff und Luft (oder einem anderen Sauerstoff enthaltenden Gasgemisch) verbrannt wird, wobei die Wärmeausdehnung des Heißgases zur Verrichtung mechanischer Arbeit genutzt wird. Die Brennstabilität ist die Stabilität eines Brennparameters über mehrere Arbeitszyklen oder eine Abweichung eines Brennparameters von einem erwarteten Wert. Das erfindungsgemäße Verfahren ist auch für Brennkraftmaschinen mit nur einem Zylinder und Kreiskolbenmotoren geeignet. Der Begriff des Zylinderdrucks ist für Hubkolbenmotoren als der im Brennraum des Zylinders bestehender Druck zu verstehen, bei allgemeinen Brennkraftmaschinen ist hiermit ein in einem Brennraum herrschender Druck zu verstehen, womit auch Brennkraftmaschinen ohne klassische Zylinder wie beispielsweise Kreiskolbenmotoren umfasst sein sollen.

[0022] Das Rohsignals des Zylinderdrucks kann mit einem Drucksensor im Brennraum der Brennkraftmaschine gemessen werden. Zur Bestimmung des Rohsignals wird der Zylinderdruck beispielsweise mit einem piezoelektrischen Hochtemperatur-Drucksensor gemessen, der im Zylinderkopf eingebaut ist. Alternativ können auch Messzündkerzen mit einem integriertem Hochtemperatur-Drucksensor angewendet werden, welche anstelle einer Standardzündkerze genutzt werden können. Beim Dieselmotor kann die Messung auch über spezielle Glühkerzenadapter erfolgen. Die Messung des Rohsignals kann bereits eine Skalierung des Drucksignals und eine Indizierung, also eine Zuordnung Rohsignals zu einem Zeitpunkt und/oder einem Kurbelwellenwinkel umfassen.

[0023] Der indizierte Mitteldruck bezeichnet den Mittelwert des im Brennraum der Brennkraftmaschine herrschenden Zylinderdrucks über einen Brennzyklus. Der Mittelwert kann als Integral des Zylinderdrucks über den Brennzyklus geteilt durch die Anzahl der im Brennzyklus aufgenommenen Messwerte berechnet werden.

[0024] Der Brennraum ist der in einer Brennkraftmaschine während der Zündung gasgefüllte Raum, in dem die Verbrennung stattfindet. In der einfachsten Ausführung der Brennkraftmaschine als Zweitakt-Hubkolbenmotor wird der Brennraum vom Zylinderdeckel mit Zündkerze, dem Kolben mit den Kolbenringen, und zu einem geringen Teil vom Zylinder umgrenzt. Beim üblichen Viertaktmotor kommen dessen Ventile im Zylinderkopf hinzu.

[0025] Der Messzeitraum ist der gesamte Zeitraum über den das Rohsignal des Zylinderdrucks gemessen wird.

[0026] Ein Hochpass ist ein Filter, der Frequenzen oberhalb ihrer Grenzfrequenz annähernd ungeschwächt passieren lassen und tiefere Frequenzen dämpfen und/oder nicht passieren lassen. Ein Hochpass-gefiltertes Signal des Rohsignals enthält daher insbesondere Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz.

[0027] Das Hochpass-gefilterte Signal erstreckt sich grundsätzlich weiterhin über den gesamten Messzeitraum.

[0028] Als Streuungsmaß wird ein statistisches Streuungsmaß verstanden, also eine Maßzahl, die die Streubreite von Werten einer Stichprobe oder einer Häufigkeitsverteilung um einen Lageparameter herum bezeichnet. Das Streuungsmaß ist insbesondere eine Standardabweichung, kann aber beispielsweise auch die Summe der Abweichungsquadrate oder eine Varianz sein.

[0029] Die Standardabweichung ist die mittlere quadratische Abweichung des Hochpassgefilterten indizierten Mitteldrucks von seinem Erwartungswert.

[0030] Der Schwellwert ist ein Wert, der insbesondere so festgelegt wird, dass erwartet wird, dass eine Standardabweichung des Hochpass-gefilterten zeitlichen Verlauf des indizierten Mitteldrucks diesen bei einer stabilen Verbrennung nicht überschreitet.

[0031] Ein Bewerten der Brennstabilität in Schritt g) kann im einfachsten Fall dadurch erfolgen, dass die Brennstabilität als instabil bewertet wird, wenn die Prüfung in Schritt f) zu einem positiven Ergebnis, also dem Ergebnis, dass der Schwellwert überschritten ist, gekommen ist, und andernfalls die Brennstabilität als stabil bewertet wird, wenn die Prüfung in Schritt f) zu einem negativen Ergebnis, also dem Ergebnis, dass der Schwellwert nicht überschritten ist, gekommen ist. Die

Größe des Schwellwerts ist dabei von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Für Fahrzeuge kann es hinsichtlich einer vorgegebenen Brennstabilität regionale oder nationale Vorgaben geben, die einzuhalten sind. Ferner können zur Höhe des Schwellwerts bei Fahrzeugen auch persönliche Präferenzen des Fahrkomforts herangezogen werden. Unterschiedliche Hersteller von Fahrzeugen arbeiten ebenfalls mit unterschiedlichen Werten. Der Schwellwert kann sich daher für unterschiedliche Fahrzeuge stark unterscheiden und beispielsweise zwischen 0,1 bar und 1 bar liegen.

[0032] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Verfahren nach Anspruch 1 in jedem der Brennräume der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.

[0033] Es kann Vorteile mit sich bringen, wenn das erfindungsgemäße Verfahren während einem Transientenübergang durchgeführt wird.

[0034] Ein Transientenübergang ist jeglicher nichtstationäre Zustand der Brennkraftmaschine und kann insbesondere ein Übergang zwischen zwei Betriebspunkten der Brennkraftmaschine sein. Ein solcher Übergang findet während eines dynamischen Ereignisses statt, also beispielsweise, wenn eine Betriebspunkt-Rampe gefahren wird oder sich der Betriebszustand auf Grund von äußeren Einflüssen verändert.

[0035] Weitere Vorteile können erreicht werden, wenn in Schritt f) zusätzlich ein Prüfen, um welchen Wert der Stabilitätsparameter den festgelegten Schwellwert überschreitet, umfasst.

[0036] Hierdurch kann eine genauere Bewertung der Brennstabilität vorgenommen werden. Alternativ kann für die genauere Bewertung der Brennstabilität auch ein erster Schwellwert und ein zweiter Schwellwert festgelegt werden, anhand derer das Hochpass-gefilterte Signal geprüft wird.

[0037] Weiter vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass der Messzeitraum wenigstens 10 Brennzyklen, vorzugsweise wenigstens 20 Brennzyklen der Brennkraftmaschine umfasst.

[0038] Werden wenigstens 10 Brennzyklen, insbesondere wenigstens 20 Brennzyklen der Brennkraftmaschine vom Messzeitraum umfasst, ist eine verlässlichere Bewertung der Brennstabilität möglich.

[0039] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Verfahren ferner den Schritt umfasst:

h) Anpassen einer Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine auf Grundlage der Bewertung der Brennstabilität.

[0040] Ein solcher Schritt des Anpassens kann grundsätzlich sowohl bei der Konfiguration der Brennkraftmaschine als auch im laufenden Betrieb vorgenommen werden. Insbesondere im laufenden Betrieb kann eine solche Anpassung vorzugsweise automatisiert vorgenommen werden. Durch die Anpassung kann eine saubere und stabilere Verbrennung erzielt werden. Mit diesem Schritt ist das Verfahren nicht nur zur Bewertung einer Brennstabilität geeignet, sondern dient insbesondere auch zur Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine.

[0041] Weitere Vorteile werden erreicht, wenn der Brennzyklus einen Zeitraum umfasst, in dem sich der Kurbelwellenwinkel um 720° ändert.

[0042] Ein Kurbelwellenwinkel von 720° entspricht einem Arbeitszyklus eines 4-Takt-Motors. Hierdurch lässt sich ebenfalls eine verlässlichere Bewertung der Brennstabilität erreichen.

[0043] Weiter vorteilhaft ist es, wenn eine Grenzfrequenz des Hochpasses zwischen 2 Hz und 15 Hz, insbesondere zwischen 5 Hz und 10 Hz liegt.

[0044] Es kann weitere Vorteile mit sich bringen, wenn eine Grenzfrequenz des Hochpasses in Abhängigkeit des Betriebszustands festgelegt ist.

[0045] Verschiedene Betriebszustände können die Brennstabilität auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Dabei sind die hochfrequenten Anteile des indizierten Mitteldrucks ein zuverlässiger Indikator zur Bewertung der Brennstabilität grundsätzlich unabhängig vom Betriebszustand. In Ausnahmefällen kann es jedoch auch vorkommen, dass das Verfahren auch vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine abhängig ist. Um eine genauere Bewertung der Brennstabilität zu erreichen kann daher die Grenzfrequenz des Hochpasses an den Betriebszustand angepasst

werden. Das Verfahren kann damit für verschiedene Betriebszustände mit unterschiedlichen Grenzfrequenzen durchgeführt werden.

[0046] Weitere Vorteile können erreicht werden, wenn die Brennkraftmaschine mehrere Brennräume aufweist und die Schritte a) bis g) in jedem der Brennräume separat durchgeführt werden.

[0047] Hierdurch kann in manchen Fällen der Aufwand zur Ermittlung der Ursache einer geringeren Brennstabilität reduziert werden.

[0048] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Verfahren an einem Motorprüfstand durchgeführt wird.

[0049] Mit der Durchführung des Verfahrens am Motorprüfstand ergeben sich insbesondere Kostenvorteile, da aufwändige Messtechnik zur Messung des indizierten Mitteldrucks lediglich bei der Entwicklung und Testung der Brennkraftmaschine verwendet werden muss und die Ergebnisse der Bewertung der Brennstabilität anschließend in die Steuerung der Brennkraftmaschine eingehen können. Es ist jedoch auch möglich, das Verfahren im regulären Betrieb einer Brennkraftmaschine durchzuführen. Dies ist insbesondere von Vorteil bei Großmotoren oder Motoren mit besonderen Leistungsanforderungen wie beispielsweise bei im Rennsport genutzten Motoren. Die Anwendung des Verfahrens im regulären Betrieb einer Brennkraftmaschine hat Vorteile für die Leistungsfähigkeit, die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Brennkraftmaschine, da das Ergebnis der Bewertung der Brennstabilität während des Betriebs kontinuierlich für die Steuerung und/oder Regelung der Brennkraftmaschine genutzt werden kann.

[0050] Gemäß einem zweiten Aspekt liefert die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine mit mehreren Brennräumen, umfassend die Schritte:

[0051] Betreiben der Brennkraftmaschine;

[0052] Bewerten der Brennstabilität mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8; und

[0053] Steuern oder Regeln der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit der Brennstabilität.

[0054] Gemäß einem dritten Aspekt liefert die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, umfassend: eine Druckmessvorrichtung zur Messung des Rohsignals des Zylinderdrucks im Brennraum der Brennkraftmaschine, und eine Auswerteeinrichtung zur Auswertung des gemessenen Rohsignals entsprechend der Schritte b) bis g) von Anspruch 1.

[0055] Die Vorrichtung kann insbesondere eine Brennkraftmaschine und/oder einen Motorprüfstand umfassen. Mit der Vorrichtung wird einem Benutzer ermöglicht, die Brennstabilität einer Verbrennung in einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine zu bewerten und diese Bewertung zu nutzen, um die Brennstabilität der Brennkraftmaschine am Prüfstand oder im regulären Betrieb zu verbessern.

[0056] Die Druckmessvorrichtung kann insbesondere einen piezoelektrischen Hochtemperatur-Drucksensor umfassen. Der piezoelektrische Hochtemperatur-Drucksensor kann vorzugsweise einen piezoelektrischen Kristall aus Gallium-Orthophosphat (GaPO_4) umfassen.

[0057] Die Auswerteeinrichtung umfasst üblicherweise einen Ladungsverstärker und ein Messwertkabel mit hoher Impedanz, um das relativ geringe Ladungssignal des Sensors zum Ladungsverstärker weiterzuleiten sowie eine mit dem Ladungsverstärker in signaltechnischer Verbindung stehende Auswerteeinheit. Ferner umfasst die Auswerteeinrichtung vorzugsweise eine Anzeigeeinrichtung zur Anzeige des Ergebnisses.

[0058] In besonderen Ausführungsformen der Erfindung kann der Begriff „umfassen“ auch „bestehen aus“ bedeuten.

[0059] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

[0060] Fig. 1 eine Auftragung von exemplarischen Messungen eines Zylinderdrucks, einem daraus berechneten indizierten Mitteldruck und einen Hochpass-gefilterten indizierten Mitteldrucks gemäß einer besonderen Ausführungsform des Verfahrens, und

[0061] Fig. 2 ein Ablaufdiagramm zur Bewertung der Brennstabilität gemäß einer besonderen Ausführung der Erfindung.

[0062] Figur 1 zeigt schematisch eine Auftragung 10 von exemplarischen Messungen des Zylinderdrucks, einem daraus berechneten indizierten Mitteldruck und einen Hochpass-gefilterten indizierten Mitteldrucks, jeweils während eines Tip-In-Manövers. Ein erstes Rohsignal 12 des Zylinderdrucks im Brennraum einer Brennkraftmaschine, hier explizit eines Hubkolbenmotors hat den in Fig. 1 a) gezeigten Verlauf. Der Zylinderdruck steigt über den Brennzyklus zunächst an und fällt anschließend wieder ab. Ein erster indizierter Mitteldruck 14 ist als Mittelwert dieses Zylinderdrucks ebenfalls eingezeichnet.

[0063] Bei einem Tip-In-Manöver, bei dem eine erhöhte Leistungsanforderung an den Motor gesendet wird, sorgt die Motorsteuerung (jedenfalls am Prüfstand) dafür, dass der Zylinderdruck erhöht wird. Ein an das erste Rohsignal 12 anschließendes zweites Rohsignal 16 eines zweiten Brennzyklus verläuft steiler und weist mit einen höheren Maximaldruck, sowie einen höheren zweiten indizierter Mitteldruck 18 auf.

[0064] Werden die in Fig. 1 a) gezeigten und weitere Mitteldrücke der Brennzyklen eines Zylinders über das gesamte Tip-In-Manöver aufgetragen ergibt sich der in Fig. 1 b) dargestellte zeitliche Verlauf des indizierten Mitteldrucks 20. Das gestufte Verhalten des Messverlaufs 20 während des gesamten Tip-In-Manövers folgt aus der Mittelwertbildung, die jeweils einen Datenpunkt pro Brennzyklus liefert. Die Datenpunkte sollten bei hoher Brennstabilität grundsätzlich einem idealen Verlauf 22 des Tip-In-Manövers folgen. Im gezeigten Beispiel weicht der zeitliche Verlauf des indizierten Mitteldrucks 20 jedoch vom idealen Verlauf 22 an einem ersten Datenpunkt P1 und einem zweiten Datenpunkt P2 deutlich nach unten ab. Ursache hierfür ist eine reduzierte Brennstabilität in den zu den Datenpunkten P1 und P2 zugehörigen Brennzyklen.

[0065] Aus dem in Fig. 1 b) dargestellten zeitlichen Verlauf folgt in einem nächsten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Berechnen eines Hochpass-gefilterten Signals 24 aus dem zeitlichen Verlauf des indizierten Mitteldrucks. Ein solches Hochpass-gefiltertes Signal 24 ist in Fig. 1 c) dargestellt. An Datenpunkten, an denen sich der indizierte Mitteldruck ändert, steigt das Filtersignal jeweils kurz um einen geringen Wert an. Dies kann dadurch umgangen werden, dass in einer besonderen Ausführungsform der Erfindung die Messzeiten mit den Zykluszeiten synchronisiert sind. Im Allgemeinen ist eine solche Synchronisierung jedoch nicht gegeben und diese kurzen Anstiege vorhanden. An den Datenpunkten P1 und P2, an denen deutliche Abweichungen vom idealen Verlauf vorliegen, steigt das Hochpass-gefilterte Signal 24 deutlich an.

[0066] Wird nun im darauffolgenden Schritt die Standardabweichung des Hochpassgefilterten Signals 24 berechnet, fällt das Ergebnis der Berechnung deutlich größer aus, als wenn diese Abweichungen nicht vorhanden wären. Ein zuvor festgelegter Schwellwert ist so gewählt, dass ein unerwünschtes instabiles Brennverhalten oberhalb dieses Schwellwerts liegt und als unproblematisch bewertete Schwankungen der Brennstabilität unterhalb dieses Schwellwerts liegen. Ein solcher Schwellwert kann für einen Hubkolbenmotor mit maximalem Zylinderdruck von 20 bar beispielsweise zwischen 0,1 bar bis 1 bar legen. Ein anschließendes Prüfen, ob die Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals 24 einen zuvor festgelegten Schwellwert überschreitet, wird dazu genutzt, zu bewerten, ob die Brennstabilität als stabil oder instabil bewertet wird.

[0067] Aus diesem Ergebnis der Prüfung kann somit eine Bewertung der Brennstabilität vorgenommen werden, wobei je nach zuvor festgelegtem Schwellwert herauskommen könnte, dass die Verbrennung instabil ist.

[0068] Dadurch, dass in dem Verfahren der Mitteldruck für jeden Brennraum einzeln gemessen und ausgewertet wird, kann auch ein einzelner Zylinder als Ursache für die instabile Verbrennung identifiziert werden.

[0069] Figur 2 zeigt ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität gemäß einer besonderen Ausführung der Erfindung.

[0070] Das Verfahren beginnt in einem ersten Schritt S1, in dem ein Rohsignal des Zylinderdrucks in einem Brennraum der Brennkraftmaschine über einen Messzeitraum gemessen wird. Der Messzeitraum umfasst mehrere hintereinander liegende Brennzyklen.

[0071] In einem zweiten Schritt S2 wird für jeden der Brennzyklen der indizierte Mitteldruck aus dem Rohsignal berechnet.

[0072] In einem dritten Schritt S3 wird ein zeitlicher Verlauf des indizierten Mitteldrucks aus den im zweiten Schritt S2 berechneten indizierten Mitteldrücken ermittelt.

[0073] In einem vierten Schritt S4 wird ein Hochpass-gefiltertes Signal, aus dem in Schritt S3 ermittelten, zeitlichen Verlauf den indizierten Mitteldrucks berechnet. Bei der Berechnung des Hochpass-gefilterten Signals aus dem zeitlichen Verlauf den indizierten Mitteldrucks werden alle unterhalb einer Grenzfrequenz liegenden Anteile des zeitlichen Verlauf den indizierten Mitteldrucks gedämpft.

[0074] In einem fünften Schritt S5 wird ein Wert eines Stabilitätsparameters S als ein Streuungsmaß des Hochpass-gefilterten Signals 24 berechnet. Das Streuungsmaß wird über alle Einzelwerte des Hochpass-gefilterten Signals in einem Berechnungszeitraum gebildet. Das Streuungsmaß wird genutzt, damit nicht sofort auf Einzelevents in nur einem Brennzyklus reagiert wird, sondern eine statistische Mittelung über mehrere Werte stattfindet. Hierdurch wird verhindert, dass Verbrennung als Instabil bewertet wird, wenn nur ein einzelner Wert ungewöhnlich stark abweicht. Insbesondere kann das Streuungsmaß eine Standardabweichung sein oder umfassen. Alternativ sind beispielsweise auch Streuungsmaße wie eine Varianz, eine mittlere absolute Abweichung, oder ein Quantilsabstand verwendbar.

[0075] In einem sechsten Schritt wird ein Prüfen durchgeführt, ob der Stabilitätsparameter S einen zuvor festgelegten Schwellwert überschreitet.

[0076] Schließlich wird in einem siebten Schritt S7 ein Bewerten der Brennstabilität aus dem Ergebnis der in dem sechsten Schritt S6 durchgeführten Prüfung durchgeführt.

[0077] Das Bewerten kann insbesondere derart vorgenommen werden, dass im Fall, dass der Wert des Stabilitätsparameters S, also insbesondere die Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals, kleiner oder gleich dem festgelegten Schwellwert ist, die Verbrennung als stabil bewertet wird und im Fall, dass der Wert des Stabilitätsparameters größer als der zuvor festgelegte Schwellwert ist, die Verbrennung als instabil bewertet wird.

[0078] Die voranstehenden Erläuterungen zu den Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Auftragung
12	erstes Rohsignal
14	erster indizierter Mitteldruck
16	zweites Rohsignal
18	zweiter indizierter Mitteldruck
20	zeitlicher Verlauf des indizierten Mitteldrucks
22	idealer Verlauf
24	Hochpass-gefiltertes Signal
P1	erster Datenpunkt
P2	zweiter Datenpunkt
S	Stabilitätsparameter
SW	Schwellwert
S1	erster Schritt
S2	zweiter Schritt
S3	dritter Schritt
S4	vierter Schritt
S5	fünfter Schritt
S6	sechster Schritt
S7	siebter Schritt

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewertung der Brennstabilität einer Verbrennung in einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine mit einer Kurbelwelle, umfassend die Schritte:
 - a) Messen eines Rohsignals (12, 16) des Zylinderdrucks in einem Brennraum der Brennkraftmaschine über einen Messzeitraum, der mehrere aufeinander folgende Brennzyklen umfasst;
 - b) Berechnen des indizierten Mitteldrucks (14, 18) aus dem Rohsignal (12, 16) für jeden der Brennzyklen;
 - c) Ermitteln eines zeitlichen Verlaufs des indizierten Mitteldrucks (20) aus den in Schritt b) berechneten indizierten Mitteldrücken (14, 18);
 - d) Berechnen eines Hochpass-gefilterten Signals (24) aus dem in Schritt c) ermittelten zeitlichen Verlauf des indizierten Mitteldrucks (20), wobei alle unterhalb einer Grenzfrequenz liegenden Anteile des zeitlichen Verlaufs des indizierten Mitteldrucks (20) gedämpft werden;
 - e) Berechnen eines Werts eines Stabilitätsparameters (S) als ein Streuungsmaß des Hochpass-gefilterten Signals (24), insbesondere als eine Standardabweichung des Hochpass-gefilterten Signals (24);
 - f) Prüfen, ob der Wert des Stabilitätsparameters (S) einen festgelegten Schwellwert (SW) überschreitet; und
 - g) Bewerten der Brennstabilität aus dem Ergebnis der in Schritt f) vorgenommenen Prüfung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren während einem Transientenübergang durchgeführt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Schritt f) zusätzlich ein Prüfen, um welchen Wert der Wert des Stabilitätsparameters (S) den festgelegten Schwellwert (SW) überschreitet, umfasst.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Messzeitraum wenigstens 10 Brennzyklen, vorzugsweise wenigstens 20 Brennzyklen der Brennkraftmaschine umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Grenzfrequenz des Hochpasses zwischen 2 Hz und 15 Hz, insbesondere zwischen 5 Hz und 10 Hz liegt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Grenzfrequenz des Hochpasses in Abhängigkeit des Betriebszustands festgelegt ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Brennkraftmaschine mehrere Brennräume aufweist und die Schritte a) bis g) in jedem der Brennräume separat durchgeführt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren an einem Motorprüfstand durchgeführt wird.
9. Verfahren zum Betreiben einer zyklisch arbeitenden Brennkraftmaschine mit mehreren Brennräumen, umfassend die Schritte:
Betreiben der Brennkraftmaschine;
Bewerten der Brennstabilität mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche; und
Steuern oder Regeln der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit der Brennstabilität.
10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend:
eine Druckmessvorrichtung zur Messung des Rohsignals (12, 16) des Zylinderdrucks im Brennraum der Brennkraftmaschine; und

eine Auswerteeinrichtung zur Auswertung des gemessenen Rohsignals (12, 16) entsprechend der Schritte b) bis g) von Anspruch 1.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

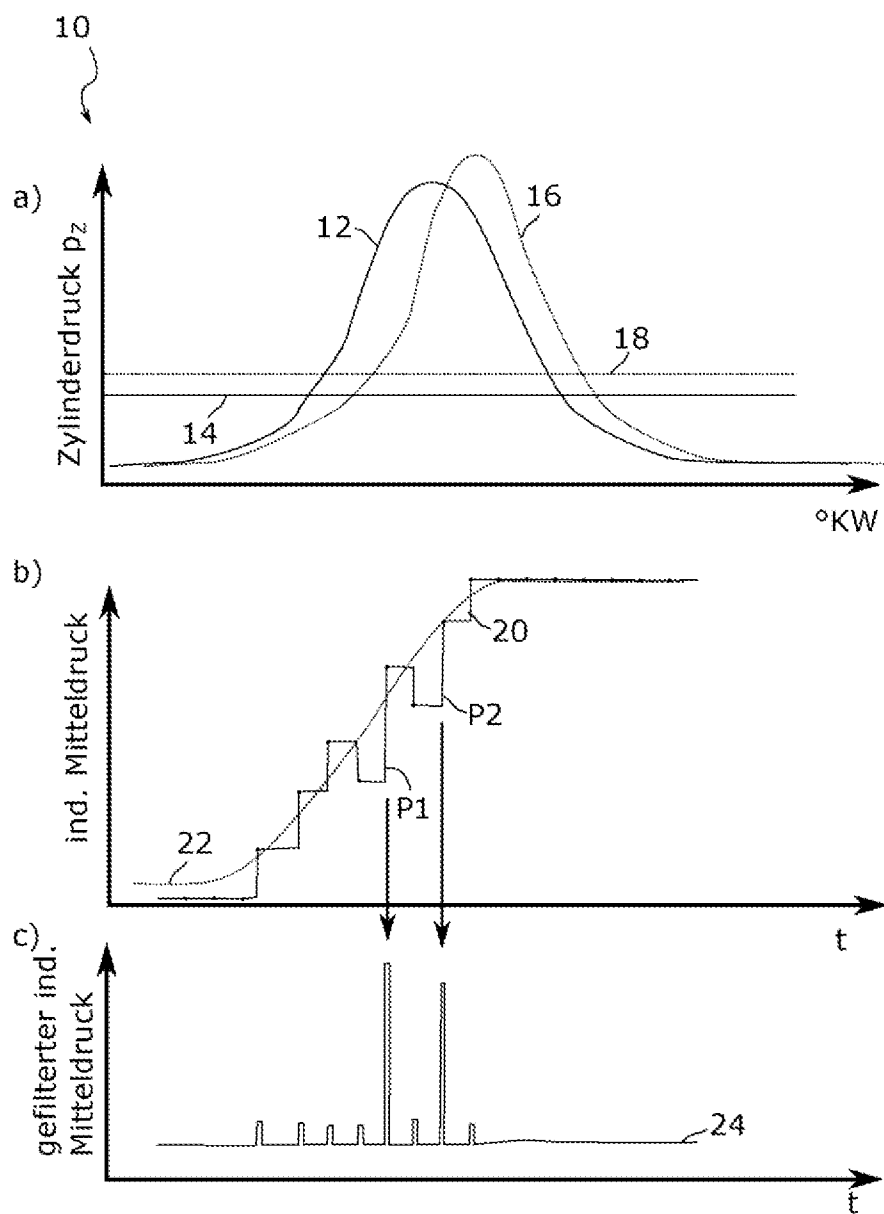


Fig. 1

2/2

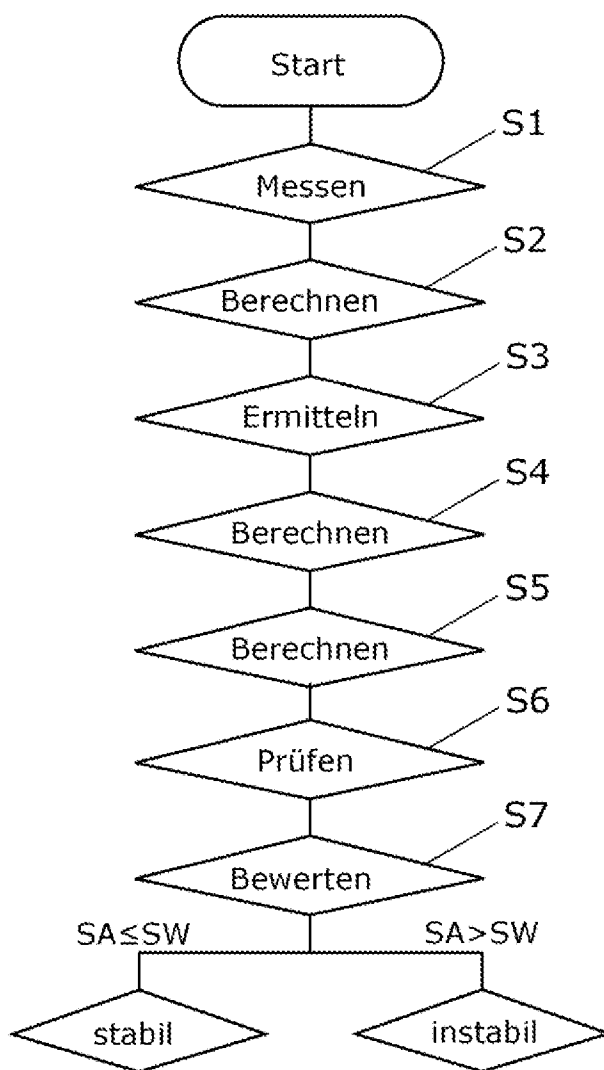


Fig. 2