

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50352/2022
(22) Anmeldetag: 18.05.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **G01L 23/22** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 69809345 T2
EP 1420155 A2
SE 504197 C2
EP 0762098 A1
DE 102012104654 B3
WO 2018060339 A1

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
DINIZ NETTO Nilton
8020 Graz (AT)
CERTIC Marko Dipl.-Ing.
8051 Graz (AT)
KAPUS Paul Dr.
8111 Judendorf (AT)

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

(54) Verfahren zur Klopferkennung in einem Brennraum eines Zylinders

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (400) zur Klopferkennung in einem Brennraum (13) eines Zylinders (14) einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Kurbelwelle, umfassend die Schritte:

- Messen einer Zylinderdruckkurve (24, 24a, 24b) in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkelparameters, wobei die Zylinderdruckkurve (24, 24a, 24b) ein höherfrequentes Überlagerungssignals (27) und ein niederfrequentes Basissignal (25) umfasst;
- Bestimmen der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b);
- Anpassen der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b) durch Invertieren von negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b);
- Bestimmen eines ersten Werts (310) des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem die angepasste Ableitung des Überlagerungssignals (312) einen Maximalwert (314) erreicht;
- Bestimmen eines zweiten Werts (316) des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem das Basissignal (25) einen Maximalwert erreicht;
- Bestimmen einer Integrationskurve (318) der angepassten Ableitung des Überlagerungssignals (312);

g) Bestimmen eines Wertes einer Verbrennungsintensität aus der Integrationskurve (318); und

h) Bestimmen eines Wertes eines relativen Verbrennungswinkels als Differenz zwischen dem ersten Wert (310) des Kurbelwellenwinkelparameters und dem zweiten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters.

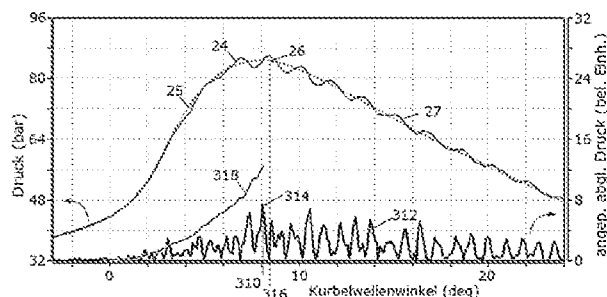


Fig. 3

Beschreibung

VERFAHREN ZUR KLOPFERKENNUNG IN EINEM BRENNRAUM EINES ZYLINDERS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Klopferkennung in einem Brennraum eines Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Kurbelwelle.

[0002] Im technischen Gebiet der Verbrennungskraftmaschinen ist bekannt, dass eine unkontrollierte Verbrennung von Kraftstoff in einem Brennraum eines Zylinders ein charakteristisches Klopfen als Verbrennungsgeräusch hervorrufen kann. Die mit dem Klopfen zusammenhängende unkontrollierte Verbrennung ist nachteilig für den Verbrennungsprozess und die Lebensdauer von Teilen der Verbrennungskraftmaschine und kann durch Anpassung der Motorsteuerung vermieden werden. Ein erster Schritt zur Anpassung der Motorsteuerung ist dabei die Erkennung der Klopfsignale.

[0003] Verfahren zur Klopferkennung sind aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus der EP0722562 A1 bekannt. Bei diesem Verfahren wird zur Klopferkennung ein Klopfsensor verwendet, der die Geräuschentwicklung des Motors misst und eine Schwelle an die Motorgeräusche anpasst, um auch bei sehr lautem Motor noch Klopfen zu erkennen.

[0004] Die DE102013109742 A1 offenbart ein Verfahren zur Klopferkennung einer Verbrennungskraftmaschine eines Kraftfahrzeugs. Bei dem Verfahren wird ein Verbrennungsgeräusch der Verbrennungskraftmaschine über eine Mehrzahl von Verbrennungszyklen erfasst und ein Referenzwert auf der Grundlage des Verbrennungsgeräusches über die Mehrzahl von Verbrennungszyklen ermittelt. Ein Schwellenwert für ein aktuelles Verbrennungsgeräusch wird anschließend auf der Grundlage des Referenzwertes ermittelt und angepasst und darauf basierend eine Klopferkennung durchgeführt.

[0005] Diese bekannten Verfahren ermöglichen eine Klopferkennung bei einfachen Verbrennungsmotoren. Neue fortschrittliche Verbrennungsmotoren weisen jedoch besondere Merkmale in Bezug auf das Klopfverhalten auf. In modernen und in Entwicklung befindlichen Verbrennungskraftmaschinen treten neben dem erwünschten Verbrennungsprozess jedoch nicht nur Klopfsignale, sondern auch schnelle Verbrennungsprozesse auf. Bei einem schnellen Verbrennungsprozess ist der Druck im Zylinder reich an Oberwellen, die Druckschwankungen während der Flammenfrontausbreitung verursachen. Diese Oszillationen verschlechtern das Signal-Rausch-Verhältnis, da der Pegel des Hintergrundrauschens erheblich ansteigt. Dieses Verhalten stört die bekannten Methoden der Klopferkennung. Darüber hinaus treten in neueren Verbrennungskraftmaschinen auch vielfach schnelle Verbrennungsprozesse auf. Schnelle Verbrennungsprozesse sind ebenfalls mit Oszillationen verbunden, aber für die Verbrennungskraftmaschine und den Verbrennungsprozess nicht in einer Weise nachteilig, wie es Klopfen ist. Auch in modernen Verbrennungskraftmaschinen gilt es, Klopfen zu vermeiden, wobei schnelle Verbrennungsprozesse geduldet werden können. Eine Unterscheidung dieser beiden Prozesse ist daher von Vorteil.

[0006] Das der Erfindung zugrunde liegende Problem besteht daher darin, die Klopferkennung in Verbrennungskraftmaschinen zu verbessern.

[0007] Das Problem wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1.

[0008] Die vorgeschlagene Erfindung basiert darauf, zu erkennen, wie sich die Flammenfrontausbreitung auf die Zylinderdruckschwingung bei einem schnellen Verbrennungsprozess auswirkt. Erfindungsgemäß wird die Hüllkurve der hochfrequenten Zylinderdruckkurve unter Klopfbedingungen Zyklus für Zyklus zu extrahiert, wobei aus der Hüllkurve die Klopfintensität und die Klopfposition in Bezug auf den Winkel des Spitzenfeuerdrucks mit einem viel geringeren Hintergrundrauschen im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik erkannt werden kann.

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt liefert die Erfindung ein Verfahren zur Klopferkennung in einem Brennraum eines Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Kurbelwelle, umfassend die Schritte:

- [0010]** a) Messen einer Zylinderdruckkurve in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkelparameters, wobei die Zylinderdruckkurve ein höherfrequentes Überlagerungssignals und ein niederfrequentes Basissignal umfasst;
- [0011]** b) Bestimmen der Ableitung des Überlagerungssignals;
- [0012]** c) Anpassen der Ableitung des Überlagerungssignals durch Invertieren von negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals;
- [0013]** d) Bestimmen eines ersten Werts des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem die angepasste Ableitung des Überlagerungssignals einen Maximalwert erreicht;
- [0014]** e) Bestimmen eines zweiten Werts des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem das Basissignal einen Maximalwert erreicht;
- [0015]** f) Bestimmen einer Integrationskurve der angepassten Ableitung des Überlagerungssignals;
- [0016]** g) Bestimmen eines Wertes einer Verbrennungsintensität aus der Integrationskurve; und
- [0017]** h) Bestimmen eines Wertes eines relativen Verbrennungswinkels als Differenz zwischen dem ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters und dem zweiten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters.

[0018] Die Verbrennungskraftmaschine kann insbesondere eine fremdgezündete Verbrennungskraftmaschine sein. Das höherfrequente Überlagerungssignal weist eine höhere Frequenz als das Basissignal auf. In gleicher Weise weist das niederfrequente Basissignal eine gegenüber dem Überlagerungssignal niedrigere Frequenz auf. Die Signale sind somit in Bezug zueinander höherfrequent bzw. niederfrequent.

[0019] Ein Kurbelwellenwinkelparameter ist ein Parameter, der mit dem Kurbelwellenwinkel in einem zuordenbarem Zusammenhang steht, insbesondere ein Parameter, aus dem sich der Kurbelwellenwinkel bestimmen lässt. Der Kurbelwellenwinkelparameter kann vorzugsweise der Kurbelwellenwinkel selbst sein. Alternativ kann der Kurbelwellenwinkelparameter beispielsweise auch ein relativer Zeitpunkt sein, mit dem sich der Kurbelwellenwinkel unter Zuhilfenahme der Motordrehzahl und eines Kurbelwellenstartwinkels oder einer Zylinderposition für spätere Zeitpunkte bestimmen lässt. In Abhängigkeit der konkreten Wahl des Kurbelwellenwinkelparameters wird eine Ableitung jeweils nach derjenigen Größe gebildet, von der die Zylinderdruckkurve abhängig ist. Ein Kurbelwellenwinkel würde damit erfindungsgemäß nach der Zeit abgeleitet werden. Ein relativer Zeitpunkt könnte damit erfindungsgemäß nach dem Kurbelwellenwinkel abgeleitet werden. Als Kurbelwellenwinkelparameter kann auch ein am Gehäuse des Motors gemessenes Beschleunigungssignal genutzt werden, aus dem der Kurbelwellenwinkel abgeleitet werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann als Kurbelwellenwinkelparameter auch ein akustisches Signal verstanden werden, sofern aus diesem der Kurbelwellenwinkel abgeleitet werden kann.

[0020] Die Zylinderdruckkurve umfasst Signale, aus denen sich der Zylinderdruck ableiten lässt. Dies sind zumindest mit dem Zylinderdruck korrelierte Signale. Das Basissignal ist hierbei grundsätzlich von höherer Intensität als das dem Basissignal überlagerte Überlagerungssignal.

[0021] Das Invertieren von negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals kann mathematisch durch Quadrieren aller Werte und anschließendes Radizieren mit der 2-ten Wurzel der quadrierten Werte erfolgen. Der Verfahrensschritt entspricht der Anwendung der Betragsfunktion auf alle Werte des Überlagerungssignals.

[0022] Ein erster Wert des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem die Ableitung des Überlagerungssignals einen Maximalwert erreicht, kann ein Wert sein, bei dem der Kurbelwellenwinkelparameter ein absolutes Maximum erreicht.

[0023] Die Verbrennungsintensität ist vorzugsweise ein bei einem Verbrennungsvorgang entstehender Maximaldruck. Aus den Werten der Verbrennungsintensität und/oder des relativen Verbrennungswinkels kann ein Signal als Klopfsignal oder als Nicht-Klopfsignal identifiziert werden.

[0024] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass das Verfahren ferner den Schritt umfasst:

[0025] i) Zuordnen des Überlagerungssignals zu einer Gruppe der Klopfsignale oder zu einer Gruppe der Akustischen Oszillationen in Abhängigkeit des Wertes der Verbrennungsintensität und/oder des Wertes des relativen Verbrennungswinkels.

[0026] Durch Bestimmung eines Wertes des Verbrennungswinkels und eines Wertes der Verbrennungsintensität ist eine Identifikation von Klopfsignalen grundsätzlich möglich. Eine Unterscheidung zwischen Klopfsignalen und akustischen Oszillationen und damit einer Zuordnung zu einer dieser Gruppen, ermöglicht eine genauere Analyse der Verbrennungsprozesse im Motor. Für manche der erfassten Signale ist für diese Unterscheidung eine Betrachtung lediglich eines Wertes der Verbrennungsintensität oder des Wertes des relativen Verbrennungswinkels ausreichend. Besonders geringe Verbrennungsintensitäten sind ein Indiz für akustische Oszillationen. Besonders hohe Verbrennungsintensitäten oder auch geringe relative Verbrennungswinkel können ein Indiz dafür sein, dass ein Klopfsignal vorliegt. Für eine besonders zuverlässige Zuordnung ist es jedoch vorteilhaft beide Werte, den Wert der Verbrennungsintensität und den Wert des relativen Verbrennungswinkel zu analysieren. Als akustische Oszillationen werden sämtliche höherfrequente Überlagerungssignale der Zylinderdruckkurve verstanden, die nicht den Klopfsignalen zuzuordnen sind. Akustische Oszillationen können unterschiedliche Ursachen haben und weisen grundsätzlich eine geringere Signalintensität als Klopfsignale auf.

[0027] Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass Schritt b) ferner die Schritte umfasst:

[0028] b1.1) Bestimmen der Ableitung der Zylinderdruckkurve; und

[0029] b1.2) Separieren der Ableitung des Überlagerungssignals von der Ableitung des Basis-signal mit wenigstens einem Filter; oder

[0030] b2.1) Separieren des Überlagerungssignals vom Basissignal mit wenigstens einem Filter; und

[0031] b2.2) Ableiten des separierten Überlagerungssignals.

[0032] Beide Alternativen, b1) und b2) ermöglichen, den Schritt b) des Verfahrens mit geringem Rechenaufwand auszuführen.

[0033] Weitere Vorteile werden erzielt, wenn bei den Verfahren die Integrationskurve lediglich bis zu dem ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters berechnet wird.

[0034] Der Rechenaufwand zur Bestimmung des Wertes der Verbrennungsintensität und des Wertes des Verbrennungswinkels wird durch die Begrenzung der Berechnung der Integrationskurve deutlich verringert, ohne dass die Genauigkeit der Klopfkennung reduziert wird.

[0035] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Wert der Verbrennungsintensität als eine maximale Steigung der Integrationskurve am ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters festgelegt wird.

[0036] Hierdurch kann mit geringem Rechenaufwand ein Wert der Verbrennungsintensität mit hoher Genauigkeit festgelegt werden. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Steigung der Integrationskurve aus zwei Messpunkten berechnet wird, wobei einer der Messpunkte am in Schritt d) bestimmten ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters liegt und der zweite Messpunkt der unmittelbar vor dem ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters liegende Messpunkt ist. Der Abstand der Punkte ist somit abhängig von einer Messfrequenz. Am ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters ist das Überlagerungssignal maximal. Die Steigung des Überlagerungssignals wächst mit zunehmender Nähe zur maximalen Steigung ebenfalls an. Für eine hinreichend genaue Bestimmung der Steigung reicht es dazu aus, diese zwei Messpunkte auszuwählen. Diese zwei Messpunkte können insbesondere einen zeitlichen Abstand von weniger als 1ms, vorzugsweise von weniger als 0,1ms und besonders bevorzugt von weniger als 0,05ms zueinander aufweisen.

[0037] Weitere Vorteile sind zu erreichen, wenn vorgesehen ist, dass der Filter einen Hochpassfilter und/oder einen Tiefpassfilter umfasst.

[0038] Mit einem Hochpassfilter oder einem Tiefpassfilter kann das Basissignal auf besonders einfache Weise von dem Überlagerungssignal separiert werden. Der Filter kann als ein digitaler Filter oder ein analoger Filter ausgestaltet sein.

[0039] Weitere Vorteile sind zu erreichen, wenn bei dem Verfahren vorgesehen ist, dass eine Filterfrequenz des Filters zwischen 3 kHz und 5 kHz, bevorzugt bei 4 kHz liegt.

[0040] Werden beispielsweise bei einem Hochpassfilter alle Signale gefiltert, dessen Frequenz unter einem Wert liegt, der zwischen 3 kHz und 5 kHz, bevorzugt bei 4 kHz liegt, ist das Verfahren besonders gut für die Klopfkennung bei einer Vielzahl von Verbrennungskraftmaschinen mit breitem Anwendungsspektrum geeignet, beispielsweise von in Personenkraftwagen eingesetzten Motoren. Für viele Betriebsarten solcher Motoren ist eine Signalfilterung und damit die Klopfkennung mit diesen Frequenzen besonders effektiv.

[0041] Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei dem Verfahren vorgesehen ist, dass zum Messen der Zylinderdruckkurve ein Drucksensor im Brennraum verwendet wird.

[0042] Durch einen Drucksensor im Brennraum ist eine besonders hohe Messgenauigkeit zu erreichen. Alternative Methoden, wie die Verwendung eines Beschleunigungssensors, beispielsweise an der Außenhülle des Verbrennungsmotors, lassen ebenfalls einen Schluss auf den im Brennraum vorliegenden Druck zu, können jedoch mit größeren Messfehlern behaftet sein. Aus den geringeren Messfehlern dieser besonderen Ausführungsform der Erfindung folgen weiter reduzierte Anteile von falsch-positiv und/oder falschnegativ erkannten Klopfsignalen.

[0043] Weitere Vorteile sind zu erreichen, wenn bei dem Verfahren vorgesehen ist, dass das Verfahren ferner den Schritt umfasst:

[0044] i) Zuordnen des einer Gruppe der Klopfsignale zugeordneten Überlagerungssignals zu einer Untergruppe der Klopfsignale mit niedriger Intensität, einer Untergruppe der Klopfsignale mit mittlerer Intensität oder einer Untergruppe der Klopfsignale mit hoher Intensität in Abhängigkeit des Wertes der Verbrennungsintensität und/oder des Wertes des relativen Verbrennungswinkels.

[0045] Die genaue Zuordnung des als Klopfsignal identifizierten Überlagerungssignals ermöglicht eine genauere Analyse der Verbrennungsprozesse im Motor.

[0046] Gemäß einem zweiten Aspekt liefert die Erfindung eine Messvorrichtung, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-8 anzuwenden.

[0047] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den nachstehenden Figuren. Hierbei zeigt/zeigen schematisch:

[0048] Figur 1 Schnitte durch einen Zylinder einer Verbrennungskraftmaschine während eines normalen Brennvorgangs (Figur 1a) und während einer klopfendem Verbrennung (Figur 1b);

[0049] Figur 2 eine Auftragung einer Druckentwicklung in einem Brennraum eines Zylinders während einer klopfendem Verbrennung (Figur 2a) und während einer schnellen Verbrennung (Figur 2b);

[0050] Figur 3 eine Auftragung einer Druckentwicklung in einem Brennraum eines Zylinders sowie davon abgeleitete Größen;

[0051] Figur 4 Schritte eines Verfahrens zur Klopfkennung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung; und

[0052] Figur 5 eine Karte mit einer Zuordnung einer Vielzahl von Signalen zu akustischen Oszillationen und verschiedenen Intensitäten eines Klopfsignals.

[0053] Figur 1 zeigt Schnitte 10, 12 durch einen Zylinder 14 einer Verbrennungskraftmaschine während eines Brennvorgangs. Figur 1a) zeigt einen ersten Schnitt 10, während eines fremdgezündeten Brennvorgangs, bei dem lediglich die von einer Zündeinrichtung 11 ausgelöste fremdgezündete Verbrennung 16 im Brennraum 13 stattfindet. Figur 1b zeigt einen zweiten Schnitt 12,

während eines fremdgezündeten Brennvorgangs, bei dem zusätzlich zu einer von einer Zündeinrichtung 11 ausgelösten fremdgezündete Verbrennung 16 ein weiterer selbstausgelöster Zündkern 18 im Brennraum 13 entsteht. Als klopfende Verbrennung wird eine unkontrollierte Verbrennung des Kraftstoffs bezeichnet, bei der solche zusätzlichen selbstausgelösten Zündkerne 18 entstehen. Temperatur und Druck steigen bei der klopfenden Verbrennung schlagartig an. Die von der Zündeinrichtung 11 ausgelöste fremdgezündete Verbrennung 16 und die Verbrennung ausgehend vom selbstausgelösten Zündkern 18 treffen mit Schallgeschwindigkeit aufeinander. Bei diesem Vorgang treten Druckspitzen auf, die verschiedene Zylinderelemente, insbesondere auch die Zündeinrichtung 11 beschädigen können. Durch Reflexion kommt es zu einer hochfrequenten Schwingung im Zylinderdruckverlauf, welche hörbar und messbar ist.

[0054] Figur 2 zeigt Auftragungen einer Druckentwicklung in einem Brennraum 13 eines Zylinders 14 für zwei unterschiedliche Arten der Verbrennung.

[0055] Figur 2a zeigt ein erstes Diagramm 20, welches den Druckverlauf in einem Brennraum 13 eines Zylinders 14 einer Verbrennungskraftmaschine während einer fremdgezündeten Verbrennung zeigt, bei der akustische Oszillationen auftreten. Diese akustischen Oszillationen können zu einer schnellen Verbrennung führen. Im oberen Bereich des ersten Diagramms 20 ist eine erste Zylinderdruckkurve 24a dargestellt. Die erste Zylinderdruckkurve 24a beschreibt den im Brennraum 13 eines Zylinders 14 einer Verbrennungskraftmaschine vorliegenden Druck in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels. Bei einem Zündwinkel 22, der einem Kurbelwellenwinkel von -15° entspricht, wird eine Zündung ausgelöst. Der im Brennraum 13 des Zylinders 14 vorliegende Druck steigt bis zu einem Kurbelwellenwinkel von etwa $+3^\circ$ mit einer ersten Steigung an. Danach anschließend steigt die erste Zylinderdruckkurve 24a bis zu einem Kurbelwellenwinkel von etwa $+10^\circ$ mit einer zweiten Steigung an. Die zweite Steigung ist größer als die erste Steigung. Die erste Zylinderdruckkurve 24a umfasst ein niederfrequentes Basissignal 25 und ein höherfrequentes Überlagerungssignal 27a. Das niederfrequente Basissignal 25 und das höherfrequente Überlagerungssignal 27a sind in Fig. 2a oben jeweils nur in Überlagerung miteinander dargestellt und an den Stellen mit Bezugszeichen versehen, an denen die jeweiligen Anteile deutlich erkennbar sind. Zusammen bilden das niederfrequente Basissignal 25 und das höherfrequente Überlagerungssignal 28 die erste Zylinderdruckkurve 24a. Bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa $+11^\circ$ erreicht das Basissignal 25 in diesem Beispiel einen Maximalwert 26.

[0056] Bei der fremdgezündeten Verbrennung ist das niederfrequente Basissignal 25 ab einem Kurbelwellenwinkel von etwa 5° und damit um den Maximalwert 26 des Basissignals 25 von einem ersten höherfrequenten Überlagerungssignal 27a überlagert. Ein solches Überlagerungssignal 27a kann beispielsweise mit einem Hochpassfilter von der Zylinderdruckkurve 24a separiert werden und ist im unteren Bereich des ersten Diagramms 20 dargestellt. Die Skala wurde zur besseren Sichtbarkeit im Vergleich zur Auftragung der Zylinderdruckkurve 24a in Fig. 2a oben angepasst. Ab einem Kurbelwellenwinkel von etwa 5° schwankt der Druck im Brennraum 13 entsprechend der Größe des höherfrequenten Überlagerungssignals 27a. Die gezeigte Schwankung entspricht ihrer Größe nach akustischen Oszillationen. Derartige akustische Oszillationen können bei unterschiedlichen Kurbelwellenwinkeln auftreten. Setzen die akustischen Oszillationen bei geringeren Kurbelwellenwinkeln als den in diesem Beispiel gezeigten ein, können diese zu einer Verstärkung 34 führen, die einen steileren Anstieg der Zylinderdruckkurve 24a zur Folge hat, als dies ohne einsetzende akustische Oszillationen der Fall wäre. Verbrennungen mit einem steileren Anstieg der Zylinderdruckkurve 24a werden allgemein als schnelle Verbrennung bezeichnet.

[0057] Eine Ableitung des Überlagerungssignals 28a ist in der in Figur 2a mittig abgebildet. In dieser Auftragung ist eine Einhüllende 36a des separierten abgeleiteten Überlagerungssignals 28a mit dargestellt. Die Einhüllende 36a dieser Ableitung des Überlagerungssignals 28a kann näherungsweise als „tropfenförmig“ beschrieben werden.

[0058] Figur 2b zeigt ein zweites Diagramm 32 einer Druckentwicklung in einem Brennraum 13 eines Zylinders 14 bei einer klopfenden Verbrennung. Im oberen Bereich des ersten Diagramms 20 ist eine zweite Zylinderdruckkurve 24b dargestellt. Die zweite Zylinderdruckkurve 24a zeigt ebenfalls den im Brennraum 13 eines Zylinders 14 einer Verbrennungskraftmaschine vorliegen-

den Druck in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels.

[0059] Bis zu einem Kurbelwellenwinkel von etwa $+10^\circ$ ist die zweite Zylinderdruckkurve 24b dominiert von dem niederfrequenten Basissignal 25. Ab einem Kurbelwellenwinkel von etwa $+10^\circ$ ist zu erkennen, dass dieses Basissignal 25 von dem relativ zu dem Basissignal 25 höherfrequenten Überlagerungssignal 27b überlagert wird.

[0060] Das von dem niederfrequenten Basissignal 25 separierte, höherfrequente Überlagerungssignal 27b ist in Fig. 2b unten dargestellt. In Figur 2b ist mittig eine separierte Ableitung des Überlagerungssignals 28b dargestellt. Eine Einhüllende 36b zeigt dabei die Form der Ableitung des Überlagerungssignals 28b. Es ist zu erkennen, dass die Einhüllende 36b der Ableitung des Überlagerungssignals 28b bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 10° steil ansteigt und kurz darauf mit einem näherungsweise exponentiellen Verlauf wieder abfällt. Der Maximalwert 29 der Ableitung des Überlagerungssignals 28 erreicht dabei einen Wert von etwa 100 bar/ $^\circ$ KW und ist damit vom Betrag her deutlich kleiner als ein bei einem etwas geringeren Kurbelwellenwinkel gemessener Minimalwert 31 von -150 bar/ $^\circ$ KW. Eine gemeinsame Auswertung der Maximalwerte und der Minimalwerte der Ableitung des Überlagerungssignals 28 wird im erfindungsgemäßen Verfahren dadurch ermöglicht, dass die Ableitung des Überlagerungssignals 28b derart angepasst wird, dass dessen negative Werte invertiert werden. Hierauf wird in Zusammenhang mit Fig. 3 näher eingegangen.

[0061] Um die Diagramme der in Fig. 2a mit denen von Fig. 2b vergleichen zu können, sind deren Skalierung jeweils gleich gewählt worden. Wird die Ableitung des Überlagerungssignals 28a mit der Ableitung des Überlagerungssignals 28b verglichen, fällt auf, dass eine klopfende Verbrennung in Fig. 2b einen deutlichen steileren Anstieg dieser Kurve im Vergleich zur Verbrennung mit akustischen Oszillationen in Fig. 2a zur Folge hat. Weiterhin fällt auf, dass bei akustischen Oszillationen die Ausschläge der Ableitung des Überlagerungssignals 28a im Vergleich zum Überlagerungssignal 27a selbst, in der gewählten Skalierung tendenziell geringer werden. Im Unterschied dazu ist bei klopfender Verbrennung zu beobachten, dass die Ausschläge der Ableitung des Überlagerungssignals 28b im Vergleich zum Überlagerungssignal 27b selbst eher noch weiter ansteigen. Dies führt zu einer Unterscheidbarkeit zwischen den bei ähnlichen Frequenzen auftretenden Signalen der akustischen Oszillationen (zu denen auch die schnellen Verbrennungen gehören) und der klopfenden Verbrennung.

[0062] In den Figuren 3 und 4 sind eine Auftragung einer Druckentwicklung in einem Brennraum 13 eines Zylinders 14, sowie davon abgeleitete Größen in Zusammenhang mit Schritten eines Verfahrens 400 gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung dargestellt.

[0063] Fig. 4 zeigt die einzelnen Schritte eines Verfahrens 400 zur Klopferkennung in einem Brennraum 13 eines Zylinders 14 einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Kurbelwelle gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung.

[0064] In einem ersten Schritt 402 des Verfahrens 400 wird eine Zylinderdruckkurve 24 in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkelparameters gemessen, wobei die Zylinderdruckkurve 24 ein höherfrequentes Überlagerungssignals 27 und ein niederfrequentes Basissignal 25 umfasst. Das niederfrequente Basissignal 25 ist als unterbrochene Linie in Fig. 3 separat eingezeichnet. Der Kurbelwellenwinkelparameter ist in dem in Figur 3 gezeigten Beispiel der Kurbelwellenwinkel.

[0065] In einem zweiten Schritt 404 wird die Ableitung der Zylinderdruckkurve berechnet. Da die Zylinderdruckkurve ein höherfrequentes Signal mit höheren Maximalsteigungen und ein niederfrequentes Signal mit geringeren Maximalsteigungen aufweist, ermöglicht die Ableitung der Zylinderdruckkurve 24 eine Separation des Basissignals 25 von dem Überlagerungssignal 27.

[0066] Ein dritter Schritt 406 betrifft das Separieren der Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b von der Ableitung des Basissignals mit wenigstens einem Filter. Der Filter kann einen Hochpassfilter und/oder einen Tiefpassfilter umfassen. Als Filter kann grundsätzlich ein analoger und ein digitaler Filter genutzt werden.

[0067] In einem vierten Schritt 408 wird die Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b durch

Invertieren von negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b angepasst. Das Ergebnis dieser Zwischenauswertung ist eine angepasste Ableitung des Überlagerungssignals 312.

[0068] Dieser vierte Schritt 408 dient unter anderem dazu, eine höhere Dichte an positiven Ausschlägen der Ableitung des Überlagerungssignals zu erreichen. Wie oben diskutiert, sind Klopf-signale durch einen besonders steilen Anstieg der Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b von schnellen Verbrennungen zu unterscheiden. Sowohl negative als auch positive Ausschläge können Hinweise auf ein Klopf-signal geben. Durch das Invertieren von negativen Werten wird die Dichte von auswertbaren Werten der Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b erhöht und damit die Erkennung von Klopfen in einer Zylinderdruckkurve 24 verbessert. Insbesondere kann bei dem vierten Schritt 408 vorgesehen sein, dass die Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b durch Invertieren von allen negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals 28a, 28b angepasst wird.

[0069] In einem fünften Schritt 410 wird ein erster Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters bestimmt, bei dem die angepasste Ableitung des Überlagerungssignals 312 einen Maximalwert 314 erreicht. Im in Figur 3 gezeigten Beispiel liegt der erste Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa $8,1^\circ$.

[0070] In einem sechsten Schritt 412 wird ein zweiter Wert 316 des Kurbelwellenwinkelparameters bestimmt, bei dem das Basissignal 25 einen Maximalwert 26 erreicht. Bei dem in Figur 3 gezeigten Beispiel liegt der zweite Wert 316 des Kurbelwellenwinkelparameters bei etwa $8,4^\circ$.

[0071] In einem siebenten Schritt 414 wird eine Integrationskurve 318 der angepassten Ableitung des Überlagerungssignals 312 berechnet. Die Integrationskurve 318 wird dabei lediglich bis zu dem ersten Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters, also in diesem Beispiel bis zu einem Kurbelwellenwinkel von $8,1^\circ$, berechnet. Eine Berechnung bis zu diesem ersten Wert 310 ist ausreichend für eine Datenverlustfreie Bestimmung der Verbrennungsintensität und reduziert den Rechenaufwand.

[0072] In einem achten Schritt 416 wird ein Wert einer Verbrennungsintensität aus der Integrationskurve 318 bestimmt. Der Wert der Verbrennungsintensität wird als eine maximale Steigung der Integrationskurve 318 am ersten Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters festgelegt. Die maximale Steigung der Integrationskurve 318 am ersten Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters wird aus zwei Messpunkten der Integrationskurve 318 bestimmt. Der erste Messpunkt liegt direkt am ersten Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters, der zweite Messpunkt ist der unmittelbar davor liegende Punkt der Integrationskurve. Dem Fachmann sind neben dieser, weitere Möglichkeiten zur Berechnung der Steigung der Integrationskurve 318 am ersten Wert 310 des Kurbelwellenwinkelparameters bekannt.

[0073] In einem neunten Schritt 418 des Verfahrens 400 wird ein Wert eines relativen Verbrennungswinkels als Differenz zwischen dem ersten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters und dem zweiten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters bestimmt. Der relative Verbrennungswinkel gibt damit den Differenzwinkel zwischen einem Kurbelwellenwinkel an, bei dem das Basissignal 25 maximal ist und einem Kurbelwellenwinkel, bei dem die angepasste Ableitung des Überlagerungssignals 312 maximal ist.

[0074] Figur 5 zeigt eine Karte 500 mit einer Zuordnung einer Vielzahl von Signalen 502 zu akustischen Oszillationen und verschiedenen Intensitäten eines Klopf-signals. Die Signale wurden mit einem erfindungsgemäßen Verfahren 400, wie es beispielsweise in Zusammenhang mit Figur 4 erläutert wurde, erzeugt. Die Signale 502 sind jeweils durch eine Verbrennungsintensität und einen relativen Verbrennungswinkel charakterisiert und in der Karte 500 als schwarze Punkte dargestellt. Die Signale 502 einer exemplarischen Messung weisen Verbrennungsintensitäten zwischen etwa 0,3 bar und 8,6 bar auf. Die relativen Verbrennungswinkel der Signale 502 liegen etwa zwischen -2° und $+4,5^\circ$. Eine besondere Häufung der Signale 502 liegt bei einem relativen Verbrennungswinkel um 0° und einer Südintensität von etwa 1 bar. Hohe Verbrennungsintensitäten treten in diesem Beispiel nicht gleichzeitig mit hohen relativen Verbrennungswinkeln auf.

[0075] Ein negativer relativer Verbrennungswinkel bedeutet, dass eine maximale Intensität des höherfrequenten Überlagerungssignals bereits zu einem Zeitpunkt bzw. Kurbelwellenwinkel aufgetreten ist, der vor einem Zeitpunkt bzw. Kurbelwellenwinkel liegt, bei dem das Basissignal eine maximale Intensität erreicht hat. Ein positiver relativer Verbrennungswinkel bedeutet entsprechend, dass eine maximale Intensität des höherfrequenten Überlagerungssignals zu einem Zeitpunkt bzw. Kurbelwellenwinkel auftritt, der nach einem Zeitpunkt bzw. Kurbelwellenwinkel liegt, bei dem das Basissignal eine maximale Intensität erreicht hat.

[0076] Die Karte 500 ist in vier unterschiedliche Bereiche eingeteilt, in denen die Signale 502 liegen. Je nachdem, in welchen der vier Bereiche ein Signal fällt, wird es einem bestimmten Typ der Verbrennung zugeordnet. Die Grenzen der Bereiche sind entsprechend der in diesem Beispiel geprüften Verbrennungskraftmaschine gewählt worden. Für andere Verbrennungskraftmaschinen sind insbesondere die Bereichsgrenzen der Verbrennungsintensität anzupassen.

[0077] Ein erster Bereich 504 erstreckt sich in diesem Beispiel von Verbrennungsintensitäten zwischen 0 und 1,2 bar sowie relativen Verbrennungswinkeln zwischen -2° und $+6,8^\circ$. Werden Signale 502 gemessen, die in diesen Bereich fallen, werden sie insbesondere aufgrund ihrer geringen Verbrennungsintensität einer Gruppe von akustischen Oszillationen zugeordnet. Signale 502 mit einer höheren Verbrennungsintensität als 1,2 bar werden in diesem Beispiel einer Gruppe von Klopfsignalen zugeordnet. Hierbei ist aber auch eine genauere Zuordnung möglich, wie mit Bezug zu den Bereichen 506, 508 und 510 erläutert wird.

[0078] Ein zweiter Bereich 506 liegt zwischen hohen relativen Verbrennungswinkeln zwischen $+1,8^\circ$ und $+6,8^\circ$ und Verbrennungsintensitäten zwischen 1,2 bar und 2,5 bar. Signale 502, die in den zweiten Bereich 506 fallen, werden als Klopfsignale niedriger Intensität identifiziert und somit einer Gruppe von Klopfsignalen niedriger Intensität zugeordnet.

[0079] Ein dritter Bereich 508 erstreckt sich von relativen Verbrennungswinkeln, die in der Größenordnung des zweiten Bereichs 506 liegen, bis zu relativen Verbrennungswinkel von 0° und Verbrennungsintensitäten zwischen 1,2 bar und 5 bar. Signale 502, die in ihrer Intensität und Position in den dritten Bereich 508 fallen, werden einer Gruppe von Klopfsignalen mittlerer Intensität zugeordnet.

[0080] Ein vierter Bereich 510 erstreckt sich von relativen Verbrennungswinkeln zwischen 0° und -2° und Verbrennungsintensitäten zwischen 1,2 bar und 10 bar. Signale 502, die in ihrer Intensität und Position dem vierten Bereich 510 zuzuordnen sind, werden einer Gruppe von Klopfsignalen hoher Intensität zugeordnet. Klopfsignale lassen sich nach dieser Methode als Signale hoher und mittlerer Intensität identifizieren. Eine genauere Zuordnung als Klopfsignal niedriger, mittlerer und hoher Intensität ist durch zusätzliche Analyse des relativen Verbrennungswinkels möglich.

[0081] Die beiden Parameter des relativen Verbrennungswinkels und der Verbrennungsintensität ermöglichen somit eine Unterscheidung zwischen Verbrennungszyklen mit Klopfsignalen und ohne diese. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine besonders fehlerfreie Erkennung der Klopfsignale.

[0082] Die voranstehenden Erläuterungen zu den Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	erster Schnitt
11	Zündeinrichtung
12	zweiter Schnitt
13	Brennraum
14	Zylinder
16	fremdgezündete Verbrennung
18	selbstausgelöster Zündkern
20	erstes Diagramm
22	Zündwinkel
24, 24a, 24b	Zylinderdruckkurve
25	Basissignal
26	Maximalwert des Basissignals
27, 27a, 27b	Überlagerungssignal
28a, 28b	Ableitung des Überlagerungssignals
29	Maximalwert der Ableitung des Überlagerungssignals
31	Minimalwert der Ableitung des Überlagerungssignals
32	zweites Diagramm
34	Verstärkung
36a, 36b	Einhüllende
310	erster Wert des Kurbelwellenwinkelparameters
312	Angepasste Ableitung des Überlagerungssignals
314	Maximalwert der angepassten Ableitung des Überlagerungssignals
316	zweiter Wert des Kurbelwellenwinkelparameters
318	Integrationskurve
400	Verfahren zur Klopferkennung
402	erster Schritt des Verfahrens
404	zweiter Schritt des Verfahrens
406	dritter Schritt des Verfahrens
408	vierter Schritt des Verfahrens

410	fünfter Schritt des Verfahrens
412	sechster Schritt des Verfahrens
414	siebter Schritt des Verfahrens
416	achter Schritt des Verfahrens
418	neunter Schritt des Verfahrens
500	Karte
502	Signale
504	erster Bereich
506	zweiter Bereich
508	dritter Bereich
510	vierter Bereich

Patentansprüche

1. Verfahren (400) zur Klopferkennung in einem Brennraum (13) eines Zylinders (14) einer Verbrennungskraftmaschine mit einer Kurbelwelle, umfassend die Schritte:
 - a) Messen einer Zylinderdruckkurve (24, 24a, 24b) in Abhängigkeit eines Kurbelwellenwinkelparameters, wobei die Zylinderdruckkurve (24, 24a, 24b) ein höherfrequentes Überlagerungssignals (27) und ein niederfrequentes Basissignal (25) umfasst;
 - b) Bestimmen der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b);
 - c) Anpassen der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b) durch Invertieren von negativen Werten der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b);
 - d) Bestimmen eines ersten Werts (310) des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem die angepasste Ableitung des Überlagerungssignals (312) einen Maximalwert (314) erreicht;
 - e) Bestimmen eines zweiten Werts (316) des Kurbelwellenwinkelparameters, bei dem das Basissignal (25) einen Maximalwert erreicht;
 - f) Bestimmen einer Integrationskurve (318) der angepassten Ableitung des Überlagerungssignals (312);
 - g) Bestimmen eines Wertes einer Verbrennungsintensität aus der Integrationskurve (318); und
 - h) Bestimmen eines Wertes eines relativen Verbrennungswinkels als Differenz zwischen dem ersten Wert (310) des Kurbelwellenwinkelparameters und dem zweiten Wert des Kurbelwellenwinkelparameters.
2. Verfahren (400) nach Anspruch 1, ferner umfassend den Schritt:
 - i) Zuordnen des Überlagerungssignals (27) zu einer Gruppe der Klopfsignale oder zu einer Gruppe der Akustischen Oszillationen in Abhängigkeit des Wertes der Verbrennungsintensität und/oder des Wertes des relativen Verbrennungswinkels.
3. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Schritt b) ferner die Schritte umfasst:
 - b1.1) Bestimmen der Ableitung der Zylinderdruckkurve (24, 24a, 24b); und
 - b1.2) Separieren der Ableitung des Überlagerungssignals (28a, 28b) von der Ableitung des Basissignal mit wenigstens einem Filter; oder
 - b2.1) Separieren des Überlagerungssignals (27) vom Basissignal (25) mit wenigstens einem Filter; und
 - b2.2) Ableiten des separierten Überlagerungssignals.
4. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Integrationskurve (318) lediglich bis zu dem ersten Wert (310) des Kurbelwellenwinkelparameters berechnet wird.
5. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wert der Verbrennungsintensität als eine maximale Steigung der Integrationskurve (318) am ersten Wert (310) des Kurbelwellenwinkelparameters festgelegt wird.
6. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Filter einen Hochpassfilter und/oder einen Tiefpassfilter umfasst.
7. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Filterfrequenz des Filters zwischen 3 kHz und 5 kHz, bevorzugt bei 4 kHz liegt.
8. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, ferner umfassend den Schritt:
 - j) Zuordnen des einer Gruppe der Klopfsignale zugeordneten Überlagerungssignals (27) zu einer Untergruppe der Klopfsignale mit niedriger Intensität, einer Untergruppe der Klopfsignale mit mittlerer Intensität oder einer Untergruppe der Klopfsignale mit hoher Intensität in Abhängigkeit des Wertes der Verbrennungsintensität und/oder des Wertes des relativen Verbrennungswinkels.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

1/4

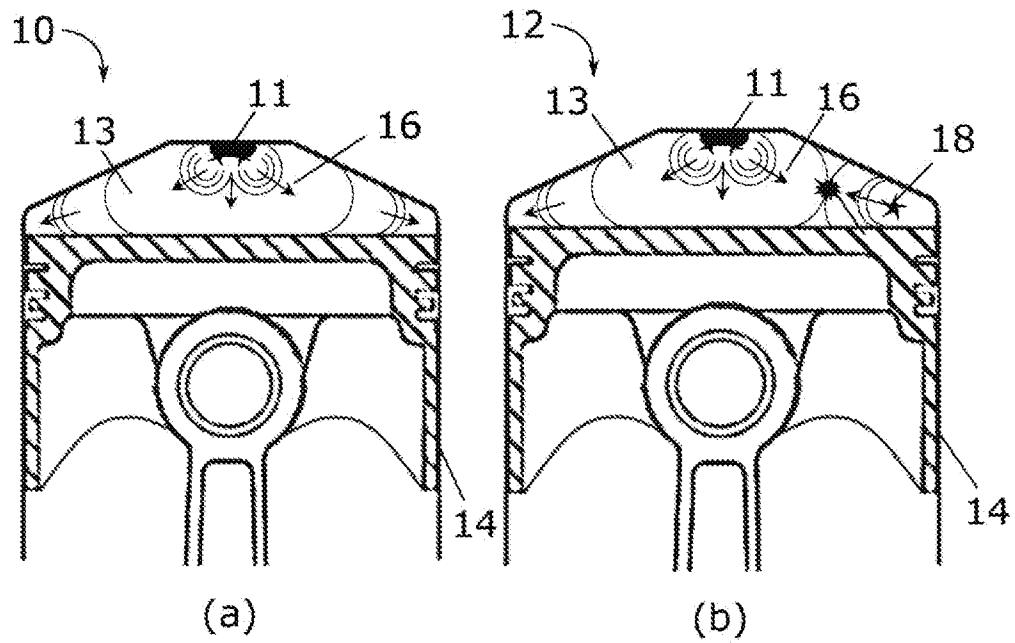


Fig. 1

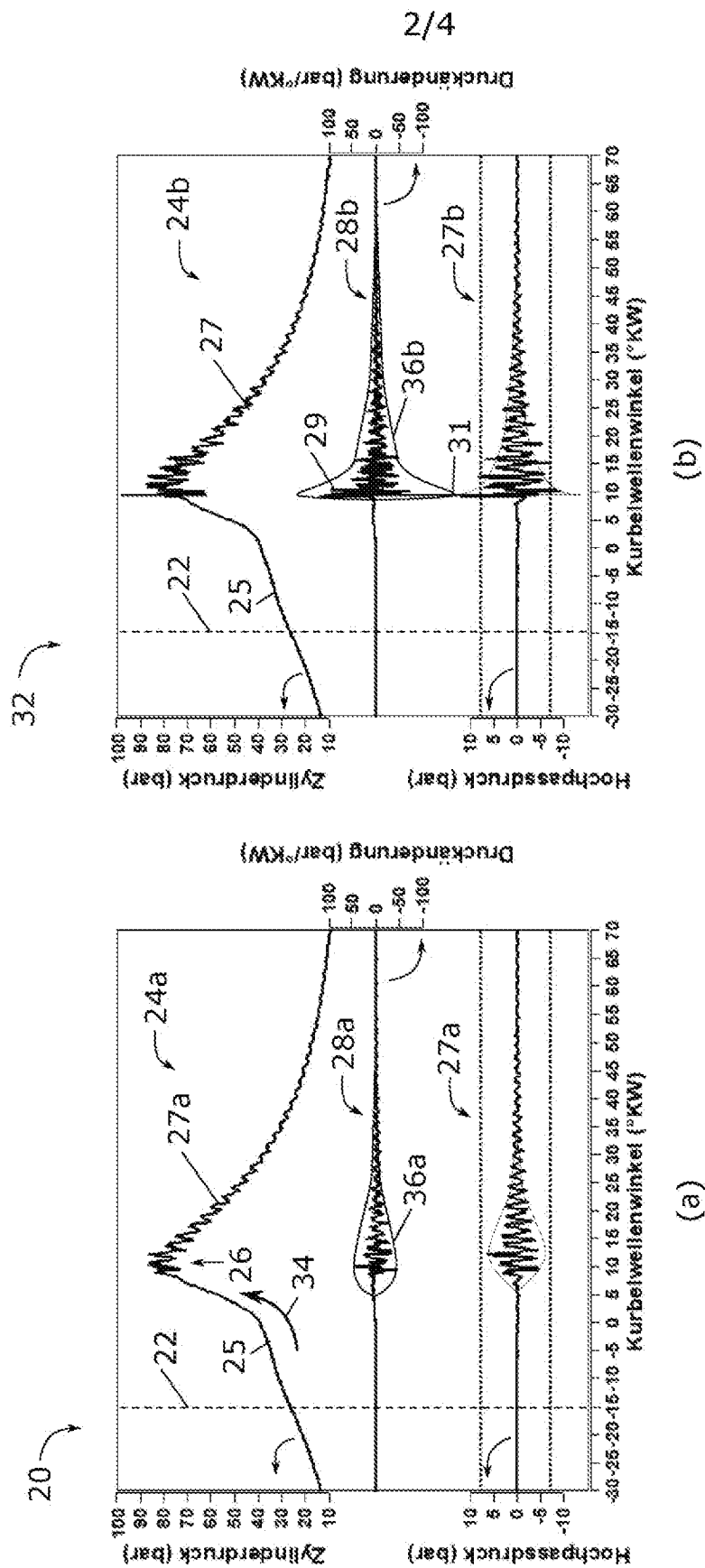


Fig. 2

3/4

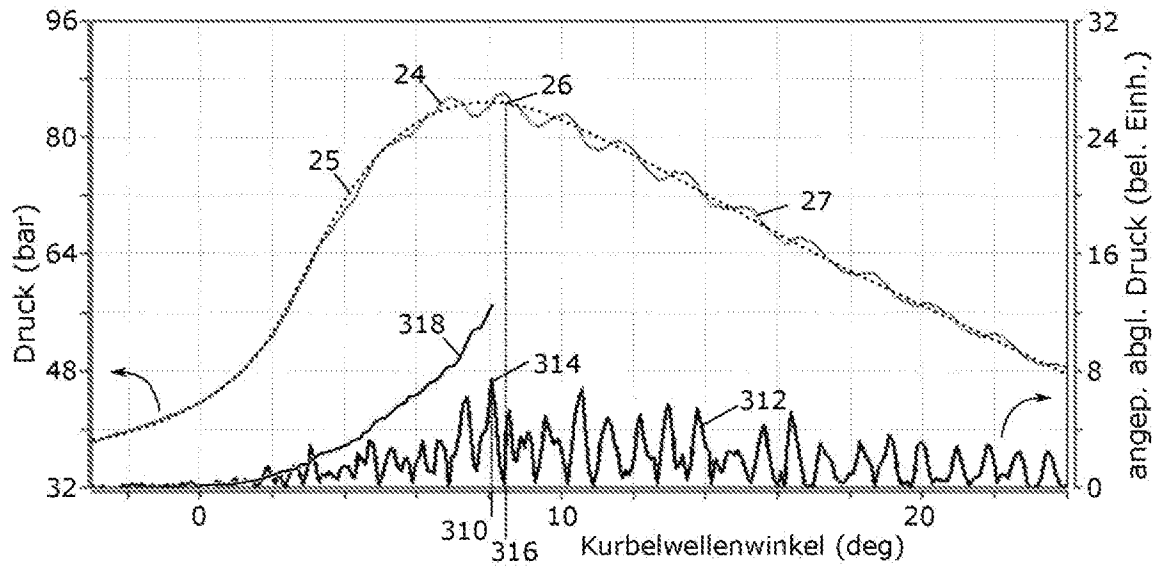


Fig. 3

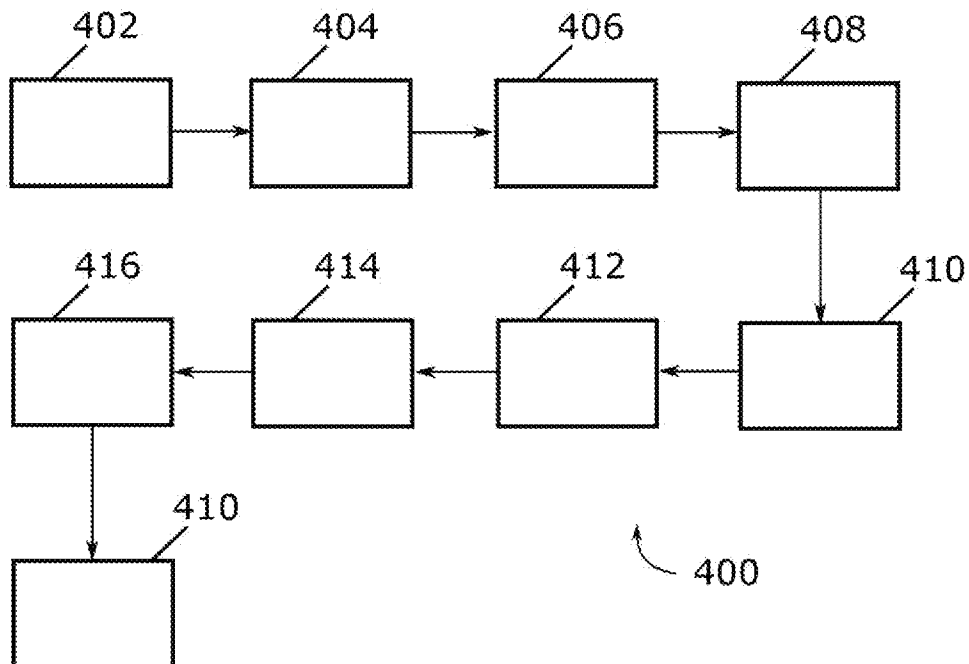


Fig. 4

4/4

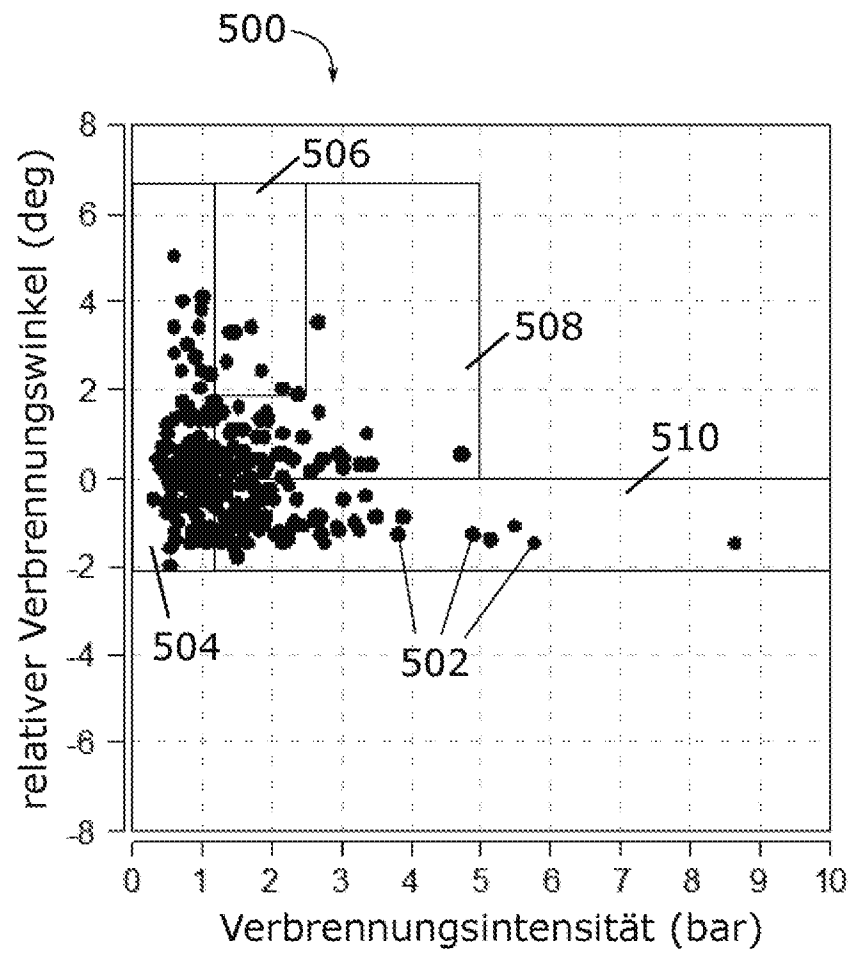


Fig. 5