

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 321/2009
(22) Anmeldetag: 24.08.2006
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2009

(51) Int. Cl.⁸: **G01L 23/22** (2006.01)
F02P 5/152 (2006.01)
F02P 5/153 (2006.01)

(62) Ausscheidung aus A 01413/2006

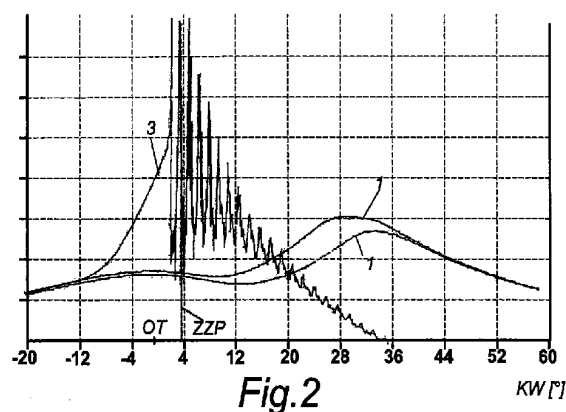
(56) Entgegenhaltungen:
DE 10043700A1 DE 19908729A1
JP 58-025559A JP 62-251450A
DE 102004024375A1

(73) Patentinhaber:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
KAPUS PAUL DR.
JUDENDORF (AT)

(54) VERFAHREN ZUR ERKENNUNG UND VERMEIDUNG VON VERFRÜHTEN VERBRENNUNGSEREIGNISSEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von abnormalen Verbrennungsereignissen bei einer Brennkraftmaschine, wobei zumindest ein Ionenstromsensor zur Bildung eines mit dem Verbrennungsablauf zusammenhängenden Sensorsignals bereitgestellt wird. Eine sichere und einfache Erkennung der Verbrennung kann dadurch erfolgen, dass das durch ein Ionenstromsignal gebildete Sensorsignal innerhalb eines definierten Messfensters permanent überwacht wird und eine verfrühte Verbrennung unmittelbar durch Auswerten des Sensorsignals durch eine elektronische Auswerteschaltung zur Erkennung von verfrühter Verbrennung erkannt wird, wenn das Ionenstromsignal nach dem Funkenende innerhalb des Messfensters stetig abfällt oder wenn ein dem Verbrennungsspitzenwert zuordbarer Maximalwert des Ionenstromsignal über einem definierten Schwellwert liegt und/oder innerhalb einer definierten Zeitdauer nach dem Funkenende auftritt, wobei das Erkennen von verfrühter Verbrennung völlig unabhängig vom Erkennen einer klopfenden Verbrennung erfolgt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung von anormalen Verbrennungsereignissen bei einer Brennkraftmaschine, wobei zumindest ein Ionenstromsensor zur Bildung eines mit dem Verbrennungsablauf zusammenhängenden Sensorsignals bereitgestellt wird.

[0002] Bei bekannten Anwendungen von Klopfregelsystemen werden Brennkraftmaschinen permanent mit zylinderindividuellen variablen Zündwinkeln betrieben, wobei aus dem klopfreien Betrieb der Zündwinkel in Richtung "früh" so lange verstellt wird, bis Klopfen erkannt wird. Danach erfolgt eine Rücknahme des Zündzeitpunktes in Richtung "spät", was zur Vermeidung von Klopfen in Folge der damit verbundenen Temperaturabsenkung im Brennraum führt. Nach Spätverstellung der Zündung in den sicheren klopfreien Betrieb wird diese nach einer Aufregelstrategie wieder schrittweise in Richtung "früh", also in Richtung der verstärkten Klopfneigung, verstellt.

[0003] Durch Zuhilfenahme eines Klopfensors zur Klopferkennung und der dazugehörigen optimierten Regelstrategie wird die Brennkraftmaschine so nah wie möglich an der Klopfgrenze betrieben. Beispielsweise durch zu schnelles nach früh Stellen des Zündwinkels an die Klopfgrenze nach einem Klopfereignis kann es aber zu einer Zunahme der thermischen Belastung im Brennraum aufgrund der verkürzten Abkühlzeit kommen. Diese auf Minimierung der Wirkungsgradverluste ausgelegte Regelstrategie kann nach einer gewissen Zeit eine verfrühte Verbrennung auslösen. Verfrühte Verbrennungen treten darüber hinaus auch speziell bei aufgeladenen Hochleistungs-Otto-Brennkraftmaschinen beispielsweise durch Ablagerungen, bzw. durch unverbrannten Kraftstoff oder Öl im Brennraum auf.

[0004] Diese verfrühten Verbrennungen verursachen keine typischen Klopfmerkmale und werden darum von den bisher eingesetzten Klopfensoren und deren Signalverarbeitungssystemen nicht erfasst. Da eine verfrühte Verbrennung jedoch mit einem starken Druckanstieg in der Kompressionsphase und mit stark überhöhten Verbrennungstemperaturen verbunden ist, führen solche anormalen Verbrennungsabläufe nach kurzer Zeit zu einem Motorschaden.

[0005] Es ist aus der DE 100 43 700 A1 und der DE 199 08 729 A1 bekannt, Klopfen, also anormale Verbrennungsvorgänge, durch klopfreduzierende Maßnahmen, wie Verschieben des Zündzeitpunktes nach spät oder Durchführen einer mehrfachen Einspritzung, zu reduzieren. Diese Maßnahmen beeinflussen aber nur anormale Verbrennungsvorgänge, die durch den Zündfunken ausgelöst werden, und nicht die für die Brennkraftmaschine gefährlicheren verfrühten Verbrennungen, die nicht durch den Zündfunken ausgelöst werden. Verfrühte Verbrennungen lassen sich nicht durch Spätstellen der Zündung beeinflussen.

[0006] Es ist weiters bekannt, das Klopfen durch verstärkte Abgasrückführung zu reduzieren, siehe JP 58-025559 A.

[0007] Die JP 62-251450 A beschreibt eine Einrichtung zur Verminderung des Klopfens, wobei im Hochlastbereich und bei Beschleunigung im Teillastbereich unterschiedliche Klopfverhinderungsmaßnahmen ergriffen werden. Im Vollastbereich wird die Menge der Ansaugluft reduziert, im Teillastbereich eine Verschiebung des Zündzeitpunktes nach spät durchgeführt.

[0008] Aus der DE 10 2004 024 375 A1 ist eine Klopferrfassungsvorrichtung für Brennkraftmaschinen bekannt, welche eine Ionenstrom-Erfassungseinrichtung zum Erfassen von Ionenströmen, die in den Zündkerzen fließen, aufweist. Die Schrift gibt keine Anregung, um verfrühte Verbrennung erkennen zu können.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, für eine Brennkraftmaschine eine sichere und einfache Erkennung von verfrühter Verbrennung durchzuführen und in weiterer Folge verfrühte Verbrennung zu vermeiden.

[0010] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass das durch ein Ionenstromsignal gebildete Sensorsignal innerhalb eines definierten Messfensters permanent überwacht wird und

eine verfrühte Verbrennung unmittelbar durch Auswerten des Sensorsignals durch eine elektronische Auswerteschaltung zur Erkennung von verfrühter Verbrennung erkannt wird, wenn das Ionenstromsignal nach dem Funkenende innerhalb des Messfensters stetig abfällt oder wenn ein dem Verbrennungsspitzenwert zuordbarer Maximalwert des Ionenstromsignal über einem definierten Schwellwert liegt und/oder innerhalb einer definierten Zeitdauer nach dem Funkenende auftritt, wobei das Erkennen von verfrühter Verbrennung völlig unabhängig vom Erkennen einer klopfenden Verbrennung erfolgt.

[0011] Dabei kann vorgesehen sein, dass die Auswertung des Sensorsignals mittels eines Integralverfahrens und/oder eines Maximalauswerteverfahrens erfolgt.

[0012] Dadurch, dass die permanente Überwachung durch Auswertung des Ionenstroms an der Zündkerze mittels einer elektronischen Auswerteschaltung erfolgt, ist ein Zylinderdrucksensor nicht unbedingt erforderlich. Dabei kann aus dem Verlauf des Ionenstromsignals nach dem Ende des Zündfunken auf eine verfrühte Verbrennung geschlossen werden. Bei einer normalen Verbrennung gibt es einen gewissen bekannten Abstand zwischen dem Ende des Zündfunken und dem Zeitpunkt des maximalen Spitzenwerts (Ionenstromsignals). Das Ionenstromsignal weist einen charakteristischen Verlauf auf, wobei nach dem Ende des Zündfunken das Ionenstromsignal schlagartig absinkt, und wobei dem Absinken eine der chemischen Ionisation zuordenbarer erster Maximalwert und - in Abstand zum Funkenende - ein höherer der thermischen Ionisation zuordenbarer zweiter Maximalwert folgt. Bei irregulärer Verbrennung ist dieser Abstand deutlich verkürzt oder sogar kleiner oder gleich null. Auch aus diesem Signal kann auf irreguläre Verbrennung geschlossen werden. Eine zusätzliche Möglichkeit bietet die Amplitude des Ionenstromsignals. Je höher das Signal, desto höher ist die thermische Belastung. Bei fortschreitender (anhaltender) irregulärer Verbrennung würde das Ionenstromsignal stark ansteigen. Auch aus diesem Effekt können Maßnahmen abgeleitet werden.

[0013] Tritt sehr frühe Verbrennung auf (Verbrennungsbeginn sehr deutlich vor dem Zündzeitpunkt bzw. früh in der Kompressionsphase), so sind diese beiden Maximalwerte nicht ausgeprägt. Im Falle von sehr früher Verbrennung - typischerweise ohne Klopfen, da zum Zeitpunkt des Überschreitens der Klopfgrenze der gesamte Brennstoff verbrannt ist bzw. die Flamme den Brennraumrand erreicht hat - weist die Ionenstromsignalkurve nach dem Funkenende einen im wesentlichen stetig fallenden Verlauf durch das fallende thermische Signal - ohne Extremwerte - auf. Tritt verfrühte Verbrennung in Kombination mit Klopfen auf (Klopfen als Folge der verfrühten Verbrennung, aber bei Überschreiten der Klopfgrenze ist noch unverbranntes Gemisch im Brennraum), so ist ein Maximalwert im Ionenstromsignal zu Folge thermischer Ionisation festzustellen, welcher wesentlich früher als bei normaler Verbrennung auftritt und dessen Amplitude wesentlich höher ist als bei regulärer Verbrennung.

[0014] Eine verfrühte Verbrennung ohne Klopfereignisse kann somit dadurch erkannt werden, dass das Ionenstromsignal nach dem Funkenende innerhalb des Messfensters stetig abfällt, ohne dass Maximalwerte auftreten.

[0015] Eine verfrühte Verbrennung mit Klopfereignissen kann erkannt werden, wenn ein dem Verbrennungsspitzenwert zuordbarer Maximalwert des Ionenstromsignal über einem definierten Schwellwert liegt und/oder innerhalb einer definierten Zeitdauer nach dem Funkenende auftritt.

[0016] Eine wirksame Maßnahme zur Verhinderung der verfrühten Verbrennung besteht darin, dass die Motorlast zumindest des betreffenden Zylinders reduziert wird, wobei vorzugsweise vorgesehen sein kann, dass die Reduzierung der Motorlast zumindest teilweise durch Abmageren oder Anfetten zumindest des betreffenden Zylinders durchgeführt wird.

[0017] Alternativ dazu oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass die Reduzierung der Motorlast zumindest teilweise durch Absenken des Saugrohrdruckes erfolgt.

[0018] Überschreiten die verfrühten Verbrennungen eine bestimmte Häufigkeit, so muss eine Reduzierung der Motorlast erfolgen, um die Brennkraftmaschine nicht zu gefährden.

[0019] In einer älteren Patentanmeldung der Anmelderin wurde vorgeschlagen, erst bei Auftre-

ten eines Klopfereignisses zumindest einen Prüfungsschritt zur Unterscheidung zwischen einem zündfunkeninduzierten normalen Klopfereignisses und einer verfrühten Verbrennung durchzuführen.

[0020] Dabei wurde geprüft, ob die Amplitude des Klopfereignisses über einer ersten Klopfschwelle für normales Klopfen liegt. Weiters wurde geprüft, ob die Amplitude des Klopfereignisses über einer definierten zweiten Klopfschwelle für verfrühte Verbrennung liegt. Erst bei Überschreiten der zweiten Klopfschwelle wurde das Klopfereignis als verfrühte Verbrennung identifiziert. Durch die Bereitstellung eines Klopfensors, jedoch durch die gemeinsame Verwendung der Auswerteschaltung, Verstärkerstufen sind gewisse Einschränkungen zur Erkennung von verfrühter Verbrennung gegeben, was im ungünstigsten Fall zu einer nicht Erkennung von verfrühter Verbrennung führt.

[0021] Die Durchführung derartiger Prüfschritte ist beim gegenständlichen Verfahren nicht erforderlich, da das Erkennen der verfrühten Verbrennung direkt durch den Ionenstromverlauf nach dem Funkenende, und nicht durch Vergleich der Amplituden mit definierten Klopferschwellen erfolgt. Dies ermöglicht es, besonders rasch verfrühte Verbrennung zu erkennen und sofort entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Somit können Schäden zu Folge verfrühter Verbrennung besonders wirksam vermieden werden.

[0022] Weiters sinkt durch diese Methode der sofortigen Erkennung der verfrühten Verbrennung die Gefahr von Fehlerkennungen (Einleitung von Maßnahmen ohne Auftreten von verfrühter Verbrennung).

[0023] Das Erkennen von verfrühter Verbrennung erfolgt völlig unabhängig vom Erkennen einer klopfenden Verbrennung. Deshalb kann verfrühte Verbrennung auch dann oder auch nur dann erfolgen, wenn kein Klopfereignis stattfindet.

[0024] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert.

[0025] Es zeigen Fig. 1 den Druckverlauf bei einer zündfunkeninduzierter Verbrennung mit Klopfen, Fig. 2 den Druckverlauf bei einer verfrühten Verbrennung mit Klopfen, Fig. 3 den Druckverlauf während einer verfrühten Verbrennung ohne Klopfen, Fig. 4a Zylinderdrucksignale für reguläre und irreguläre Verbrennungen Fig. 4b Ionenstromsignale für reguläre und irreguläre Verbrennungsabläufe.

[0026] In den Fig. 1 bis 4a ist der Zylinderdruck p über dem Kurbelwinkel KW aufgetragen.

[0027] Wie aus Fig. 1 deutlich hervorgeht, tritt bei klopfender Verbrennung 2 ein Druckanstieg erst nach dem Zündzeitpunkt ZZP auf. Dieser Druckanstieg nach dem Zündzeitpunkt ZZP ist somit ein charakteristisches Merkmal der klopfenden Verbrennung. Mit 1 sind die Referenzdruckverläufe mit regulärer Verbrennung bezeichnet.

[0028] Der Druckverlauf bei verfrühter Verbrennung 3, 4 unterscheidet sich davon wesentlich, wie in den Fig. 2 und 3 dargestellt ist.

[0029] Die Fig. 2 zeigt eine verfrühte Verbrennung 3 mit Klopfen. Merkmal dieser verfrühten Verbrennung ist, dass der Druckanstieg noch vor dem Zündzeitpunkt ZZP erfolgt. Ein zu starker Druckanstieg vor dem Zündzeitpunkt ZZP hat zur Folge, dass ein stark überlagertes Klopfen ausgelöst wird, wenn zum Zeitpunkt der Überschreitung der Klopfgrenze unverbranntes Gemisch im Brennraum ist.

[0030] Die Fig. 3 zeigt eine verfrühte Verbrennung 4 ohne Klopfen. Auch hier erfolgt der Druckanstieg deutlich vor dem Zündzeitpunkt ZZP. Da in dieser ersten Phase der Verbrennung das zündfähige Gemisch zur Gänze verbrannt ist, entsteht kein überlagertes Klopfen.

[0031] Da eine verfrühte Verbrennung - ohne oder mit Klopfen - mit einem starken Druckanstieg in der Kompressionsphase verbunden ist, kann durch Beobachten des Druckverlaufs in der Kompressionsphase eine eindeutige Erkennung von verfrühter Verbrennung mit und ohne Klopfen sehr frühzeitig, nämlich in Echtzeit, erfolgen.

[0032] Alternativ oder zusätzlich zur Auswertung des Zylinderdruckes kann die Erkennung der

verfrühten Verbrennung auch auf Grund eines Ionenstromsignals i an der Zündkerze erfolgen, wie Fig. 4a und Fig. 4b zeigen. Dabei sind die Zylinderdrucksignale p und die Ionenstromsignale i über dem Kurbelwinkel KW für reguläre Verbrennung 1 und verfrühte Verbrennungen 3, 4 dargestellt.

[0033] Aus dem Verlauf des Ionenstromsignals i nach dem Ende EZ des Zündfunken kann auf eine verfrühte Verbrennung geschlossen werden. Bei einer normalen Verbrennung 1 weist das Ionenstromsignal i einen charakteristischen Verlauf auf, wobei nach dem Ende EZ des Zündfunken das Ionenstromsignal i schlagartig absinkt. Dem Absinken des Ionenstromsignals i folgt ein der chemischen Ionisation zuordbarer erster Maximalwert 1a. Weiters folgt in Abstand a zum Funkenende EZ ein der thermischen Ionisation zuordbarer höherer zweiter Maximalwert 1b, dessen Auftreten mit dem Verbrennungsspitzenruck zusammenfällt. Tritt eine verfrühte Verbrennung 3, 4 auf, so sind diese beiden Maximalwerte 1a, 1b nicht ausgeprägt.

[0034] Tritt verfrühte Verbrennung 3 in Kombination mit Klopfen auf, so ist ein Maximalwert 3a im Ionenstromsignal i zu Folge thermischer Ionisation festzustellen, welcher aber wesentlich früher als bei normaler Verbrennung 1 auftritt. Der Betrag des Maximalwertes 3a ist wesentlich größer die Maximalwerte 1a und 1b bei regulärer Verbrennung. Eine verfrühte Verbrennung 3 mit Klopfereignissen kann erkannt werden, wenn ein der thermischen Ionisation zuordbarer Maximalwert 3a des Ionenstromsignal i über einem definierten Schwellwert liegt und/oder innerhalb einer definierten Zeitdauer a nach dem Funkenende EZ auftritt. Der Schwellwert kann beispielsweise durch den höchsten bei regulärer Verbrennung nach dem Funkenende EZ auftretenden Maximalwert 1b des Ionenstromsignals gebildet sein.

[0035] Tritt extrem verfrühte Verbrennung 4 ohne Klopfen auf, weist die Ionenstromsignalkurve i nach dem Funkenende EZ einen im Wesentlichen stetig fallenden Verlauf - ohne Extremwerte - auf. Eine verfrühte Verbrennung ohne Klopfereignisse kann somit dadurch erkannt werden, dass das Ionenstromsignal i nach dem Funkenende EZ zumindest innerhalb des gewählten Messfensters a stetig abfällt, ohne dass Maximalwerte auftreten.

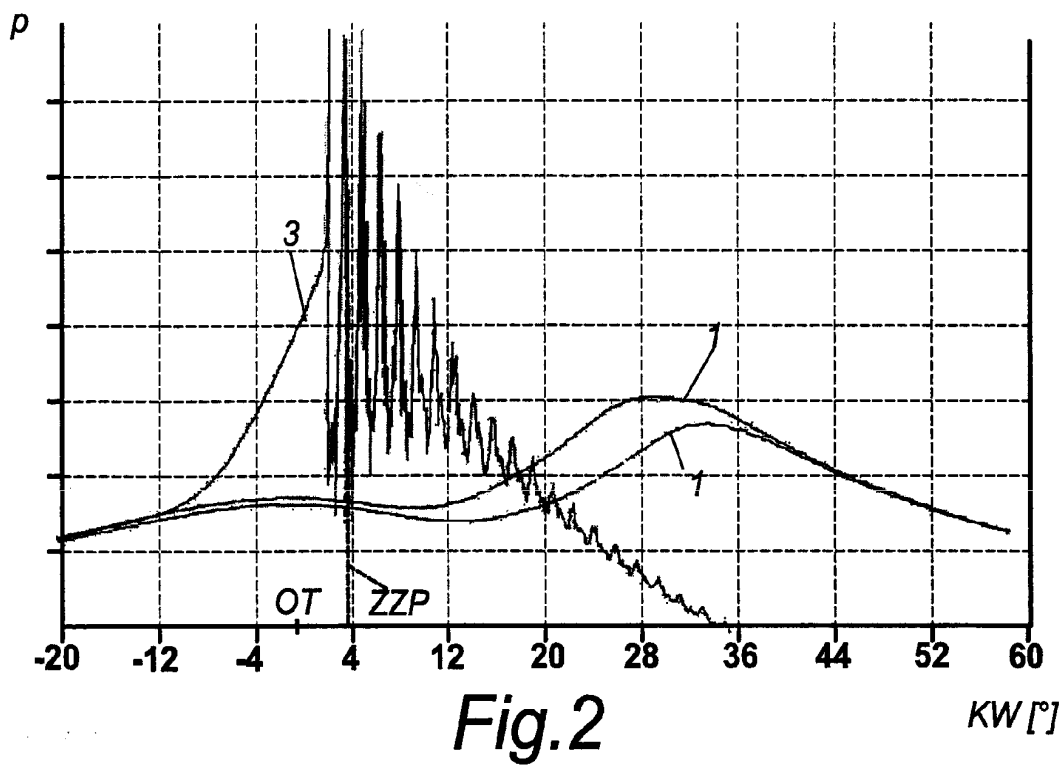
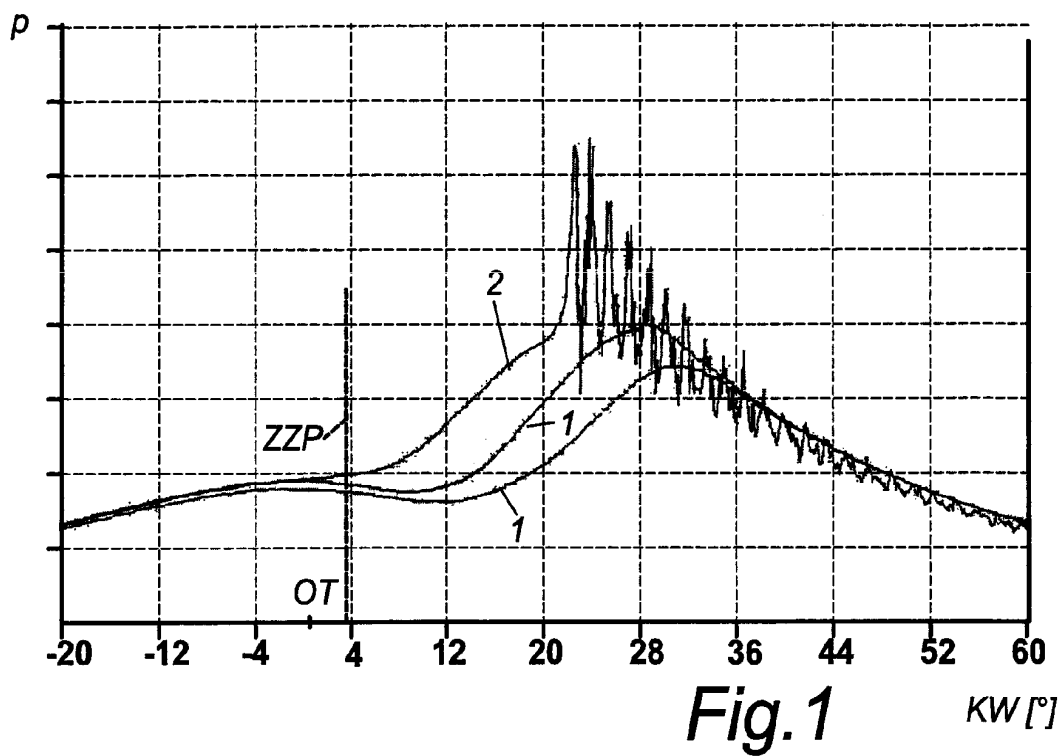
[0036] Durch Erkennen der Lage der Verbrennung mit Ionenstrommessung bzw. aus der Erkennung der zeitlichen Differenz zwischen dem Zündfunken und der Spitzendrucklage kann zuverlässig zwischen normaler Verbrennung 1 und verfrühter Verbrennung 3, 4 unterschieden werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung von anormalen Verbrennungsereignissen bei einer Brennkraftmaschine, wobei zumindest ein Ionenstromsensor zur Bildung eines mit dem Verbrennungsablauf zusammenhängenden Sensorsignals bereitgestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das durch ein Ionenstromsignal gebildete Sensorsignal innerhalb eines definierten Messfensters permanent überwacht wird und eine verfrühte Verbrennung unmittelbar durch Auswerten des Sensorsignals durch eine elektronische Auswerteschaltung zur Erkennung von verfrühter Verbrennung erkannt wird, wenn das Ionenstromsignal nach dem Funkenende innerhalb des Messfensters stetig abfällt oder wenn ein dem Verbrennungsspitzenruck zuordbarer Maximalwert des Ionenstromsignals über einem definierten Schwellwert liegt und/oder innerhalb einer definierten Zeitdauer nach dem Funkenende auftritt, wobei das Erkennen von verfrühter Verbrennung völlig unabhängig vom Erkennen einer klopfenden Verbrennung erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswertung des Sensorsignals mittels eines Integralverfahrens und/oder eines Maximalauswerteverfahrens erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Erkennung einer verfrühten Verbrennung eine Reduzierung der Motorlast zumindest des betreffenden Zylinders durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Erkennung einer verfrühten Verbrennung eine Reduzierung der Luftzahl zumindest des betreffenden Zylinders durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Erkennung einer verfrühten Verbrennung eine Anhebung der Luftzahl zumindest des betreffenden Zylinders durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Erkennung einer verfrühten Verbrennung eine Abschaltung der Kraftstoffzufuhr zumindest des betreffenden Zylinders durchgeführt wird.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen



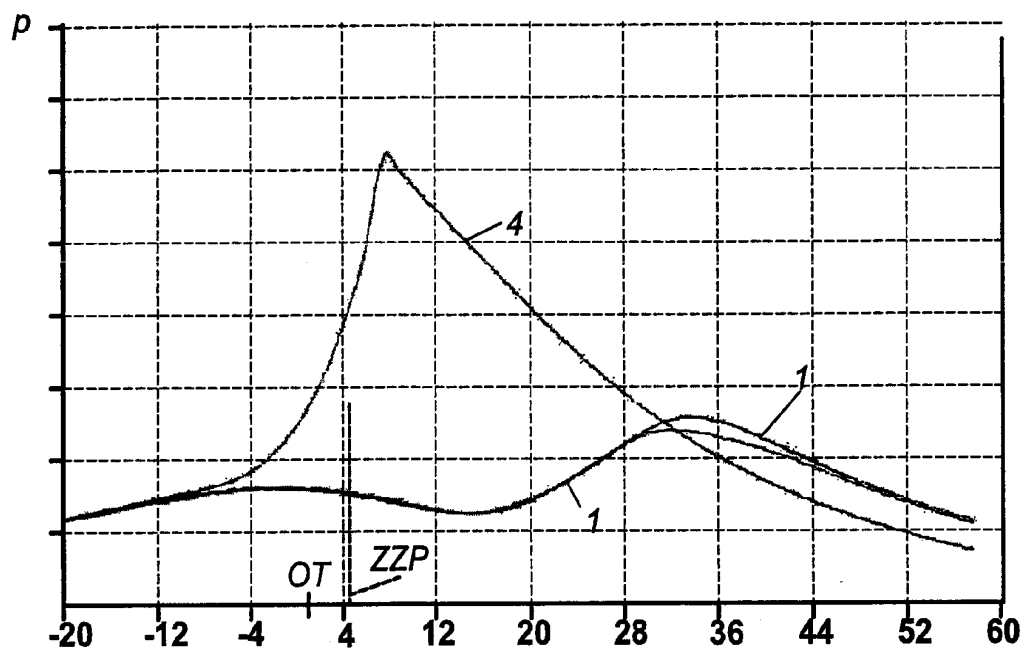


Fig. 3

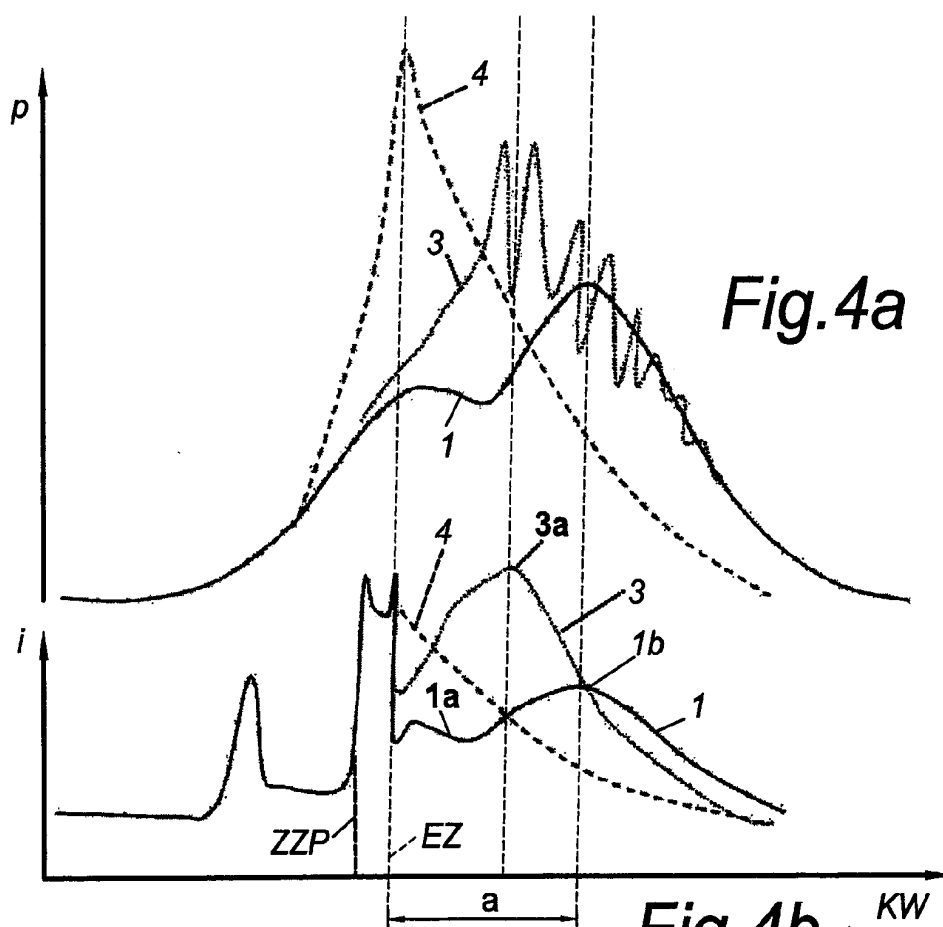


Fig. 4b KW