(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 164 286 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.12.2001 Patentblatt 2001/51

(51) Int Cl.[7]: **F02P 19/02**, F02P 17/12

(21) Anmeldenummer: **00127160.0**

(22) Anmeldetag: **12.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **10.03.2000 DE 10011631**
24.12.1999 LU 90495

(71) Anmelder: **Delphi Technologies, Inc.**
Troy, MI 48007 (US)

(72) Erfinder:
- **Engel, Joseph A.**
  4671 Oberkorn (LU)
- **DuFaux, Henri M.A.F.**
  6723 Habay-la-Vieille (BE)
- **Glavmo, Magnus P.**
  8272 Mamer (LU)

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**
Postfach 31 02 20
80102 München (DE)

(54) Verfahren zur Überwachung der verstärkten Bildung von Stickoxiden

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der verstärkten Bildung von Stickoxiden während der Verbrennung fossiler Brennstoffe, insbesondere während der Verbrennung im Zylinder eines Verbrennungsmotors. Hierzu wird eine Folge erster Leitfähigkeitswerte auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativen Teilchen gebildet und anschließend mit einer Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen, die auf Grundlage positiv geladener Teilchen im Verbrennungsgas gebildet worden ist. Eine verstärkte Bildung von Stickoxiden wird dann festgestellt, wenn die Folge erster Leitfähigkeitswerte und die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte während des Vergleiches zunehmend voneinander abweichen.

EP 1 164 286 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der verstärkten Bildung von Stickoxiden während der Verbrennung fossiler Brennstoffe, insbesondere während der Verbrennung in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors.

[0002] Es ist bekannt, mit Hilfe des sogenannten Ionenstrom-Meßverfahrens den Verbrennungsablauf während der Verbrennung fossiler Brennstoffe zu überwachen. Hierzu wird in dem Verfahrensraum, in dem die Verbrennung der fossilen Brennstoffe stattfindet, eine Meßeinrichtung angeordnet, an der während eines üblicherweise zeitlich begrenzten Verbrennungsvorganges eine positive elektrische Spannung angelegt wird. Durch die Verbrennung entstehen im Verbrennungsgas, d.h. in dem Gemisch aus verbranntem und unverbranntem Brennstoff, negativ geladene Teilchen und positiv geladene Teilchen. Mit Hilfe der Meßeinrichtung können die im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen, wie Elektronen und negativ geladene Moleküle, erfaßt und auf diese Weise die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases bestimmt werden. Bei dem bekannten Verfahren wird eine Folge erster Leitfähigkeitswerte über einen vorgegebenen Zeitraum erfaßt, die anschließend zur Beurteilung des Ablaufes des überwachten Verbrennungsvorganges ausgewertet wird. Dieses bekannte Verfahren eignet sich unter anderem zur Überwachung der Verbrennungsvorgänge in Heizanlagen, Gasboilern oder auch Verbrennungsmotoren.

[0003] Insbesondere bei Benzinmotoren und bei Dieselmotoren wird dieses bekannte Verfahren eingesetzt, um den Ablauf der einzelnen Verbrennungsvorgänge im Zylinder des Verbrennungsmotors zu überwachen und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise durch die Veränderung des Einspritzzeitpunktes, der eingespritzten Kraftstoffmenge oder des Einspritzverlaufes, die weiteren Verbrennungsvorgänge gezielt zu beeinflussen. Des weiteren wird das bekannte Verfahren dazu verwendet, die während der Verbrennungsvorgänge entstehenden Temperaturen in einem gewünschten Temperaturbereich zu halten, bei dem die verstärkte Bildung von unerwünschten Abgaskomponenten wie Stickoxiden (NO_x) nicht auftritt, deren Bildung aus Umweltschutzgründen vermieden werden soll. So wird insbesondere bei Verbrennungsmotoren beobachtet, daß ab einer Temperatur von etwa 2000 K während der Verbrennungsvorgänge im Zylinder verstärkt Stickoxide entstehen. Nach Erfassen der verstärkten Bildung von unerwünschten Abgaskomponenten kann mit Hilfe der zuvor beschriebenen Maßnahmen die Temperatur im Zylinder reduziert werden.

[0004] Insbesondere bei der Verwendung des bekannten Meßverfahrens zur Bestimmung einer verstärkten Bildung von Stickoxiden im Verbrennungsgas besteht das Problem, daß die durch die übermäßige Bildung von Stickoxiden freiwerdenden Elektronen, die aufgrund ihrer geringen Masse auch aus entfernteren Bereichen zur Meßeinrichtung wandern, die erfaßten ersten Leitfähigkeitswerte des Verbrennungsgases verfälschen, so daß das Meßsignal gestört und somit eine exakte Überwachung der Verbrennungsvorgänge verhindert ist.

[0005] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Überwachung der verstärkten Bildung von Stickoxiden anzugeben, das eine verglichen mit den bekannten Verfahren bessere Auswertgenauigkeit zeigt.

[0006] Die Erfindung löst die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 und insbesondere dadurch, daß bei dem Verfahren eine Folge erster Leitfähigkeitswerte der während eines Verbrennungsvorganges vorliegenden Verbrennungsgase bestimmt wird, die auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen gebildet wird, die Folge erster Leitfähigkeitswerte mit einer Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen wird, die auf Grundlage positiv geladener Teilchen gebildet worden ist, welche in einem unter zumindest annähernd identischen Randbedingungen erfolgten weiteren Verbrennungsvorgang im Verbrennungsgas auftreten, und eine verstärkte Bildung von Stickoxiden während der Verbrennung dann festgestellt wird, wenn die Folge erster Leitfähigkeitswerte und die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte während des Vergleiches zunehmend voneinander abweichen.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird gezielt die Tatsache ausgenutzt, daß mit zunehmender Verbrennungstemperatur zusätzlich zu den im Verbrennungsgas enthaltenen Elektronen der Gehalt an negativ geladenen Stickstoff- und Sauerstoffionen im Vergleich zu dem Gehalt an positiv geladenen Ionen, wie beispielsweise Wasserstoffionen, überproportional zunimmt. Dies hat zur Folge, daß bei niedrigen Temperaturen im Verbrennungsgas zumindest annähernd ein Gleichgewicht zwischen dem Gehalt an negativ geladenen Teilchen und dem Gehalt an positiv geladenen Teilchen besteht. Bei zunehmender Verbrennungstemperatur nimmt ab einem Temperaturwert von etwa 2000 K durch die plötzliche Aufspaltung von Stickstoffmolekülen und Sauerstoffmolekülen der Gehalt an negativ geladenen Teilchen im Verbrennungsgas zu, während der Anteil an positiv geladenen Teilchen im Verbrennungsgas in etwa konstant bleibt oder gegebenenfalls sogar abnimmt.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren schlägt nun vor, eine Folge erster Leitfähigkeitswerte des während eines Verbrennungsvorganges vorliegenden Verbrennungsgases zu bestimmen, die auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen gebildet wird. Diese Folge erster Leitfähigkeitswerte wird mit einer Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen, die auf Grundlage positiv geladener Teilchen gebildet worden ist, welche in einem unter zumindest annähernd identischen Randbedingungen erfolgten weiteren Verbrennungsvorgang im Verbrennungsgas auftreten. Zur Feststellung einer eventuell vorlie-

genden, verstärkten Bildung von Stickoxiden werden die beiden Folgen der Leitfähigkeitswerte miteinander verglichen. Bei niedrigen Temperaturen unterscheiden sich die Leitfähigkeitswerte der beiden Folgen aus den zuvor genannten Gründen allenfalls unwesentlich voneinander, so daß von einem gewünschten Gleichgewicht zwischen den positiv geladenen Teilchen und den negativ geladenen Teilchen im Verbrennungsgas ausgegangen werden kann. Sobald jedoch im Verbrennungsvorgang Temperaturen von 2000 K und mehr erreicht werden, kommt es schlagartig zu einer verstärkten Bildung negativ geladener Ionen, die die auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen bestimmten ersten Leitfähigkeitswerte ansteigen läßt, während die auf Grundlage positiv geladener Teilchen gebildete Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen mit der Folge erster Leitfähigkeitswerte abnimmt. Sobald es zu einer deutlichen Abweichung der Folge zweiter Leitfähigkeitswerte von der Folge erster Leitfähigkeitswerte kommt, ist dies als Hinweis auf eine verstärkte Bildung von Stickoxiden zu werten.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, der Zeichnung, sowie den Unteransprüchen.

[0010] So wird bei einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens vorgeschlagen, die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte während des weiteren Verbrennungsvorganges zu bestimmen, indem die im Verbrennungsgas enthaltenen positiv geladenen Teilchen erfaßt werden. Dies hat den Vorteil, daß die tatsächlich auftretenden Bedingungen während des weiteren Verbrennungsvorganges erfaßt werden können und zum Vergleich mit der Folge erster Leitfähigkeitswerte herangezogen werden. Die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte wird vorzugsweise während eines Verbrennungsvorganges erfaßt, der entweder vor oder nach dem Verbrennungsvorgang, bei dem die Folge erster Leitfähigkeitswerte bestimmt wird, auftritt.

[0011] Bei einer alternativen Ausführungsform des Verfahrens wird vorgeschlagen, die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte aus einer Reihe gespeicherter Folgen zweiter Leitfähigkeitswerte auszuwählen. Die Auswahl erfolgt in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Verbrennungsvorganges, während dem die Folge erster Leitfähigkeitswerte bestimmt wird. So werden bei Verbrennungsmotoren als Randbedingungen beispielsweise die eingespritzte Kraftstoffmenge, die Einspritzdauer, der Verlauf der Einspritzung, der Kurbelwellenwinkel oder auch der Zündzeitpunkt verwendet.

[0012] Es ist auch denkbar, die Folge zweiter Leitfähigkeitswert sowohl aktuell durch Erfassen der positiv geladenen Ionen im Verbrennungsgas zu bestimmen als auch die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte aus einer Vielzahl gespeicherter zweiter Leitfähigkeitswerte auszuwählen, so daß das Verfahren beispielsweise bei Randbedingungen des beobachteten Verbrennungsvorganges, die ein aktuelles Bestimmen der Folge zweiter Leitfähigkeitswerte erschweren, auf die abgespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte zurückgegriffen werden kann.

[0013] Die gespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte werden auf Grundlage empirischer Auswertungen bestimmt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die gespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte zumindest teilweise durch Approximation aus der eingespritzten Kraftstoffmenge, aus der Einspritzdauer und/oder aus dem Einspritzverlauf zu bestimmen, damit der erforderliche Speicher für die abzuspeichernden zweiten Leitfähigkeitswerte vergleichsweise klein ist.

[0014] Des weiteren wird vorgeschlagen, die abgespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte zusätzlich durch geeignete Algorithmen an die Randbedingungen des tatsächlich erfolgenden Verbrennungsvorganges rechnerisch anzupassen.

[0015] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird zum Feststellen der verstärkten Bildung von Stickoxiden zum Vergleich jeweils die Differenz zwischen zwei Leitfähigkeitswerten der beiden Folgen gebildet und eine verstärkte Bildung an Stickoxiden dann als gegeben angesehen, wenn die Differenzen der jeweils nachfolgend miteinander verglichenen zwei Leitfähigkeitswerte der beiden Folgen zumindest konstant bleiben oder gegebenenfalls größer werden.

[0016] Eine weitere Möglichkeit, die verstärkte Bildung von Stickoxiden festzustellen, besteht darin, für die beiden miteinander zu vergleichenden Folgen der ersten und der zweiten Leitfähigkeitswerte Kurven bezogen auf die Zeit zu bilden, die anschließend miteinander verglichen werden. Der Vergleich erfolgt vorzugsweise durch Berechnen der Flächeninhalte der beiden Kurven und durch Subtraktion der Flächeninhalte voneinander, wodurch die Menge entstehenden Stickoxides indirekt bestimmt werden kann. So wird bei diesem Verfahren eine verstärkte Bildung von Stickoxiden dann festgestellt, wenn die durch Subtraktion berechnete Flächendifferenz zwischen den Flächeninhalten der Kurven einen vorgegebenen Maximalwert übersteigt.

[0017] Zum Bestimmen der Folge erster Leitfähigkeitswerte wird die Verwendung einer Meßeinrichtung vorgeschlagen, an der zum Bestimmen der Leitfähigkeit des Verbrennungsgases eine positive elektrische Spannung angelegt wird. Durch Anlegen der positiven elektrischen Spannung an die Meßeinrichtung kann die Meßeinrichtung den Anteil an im Verbrennungsgas negativ geladenen Teilchen erfassen.

[0018] Als Meßeinrichtung für die Bestimmung der Folge zweiter Leitfähigkeitswerte wird die Verwendung einer Meßeinrichtung vorgeschlagen, an der eine negative elektrische Spannung angelegt wird, so daß positiv geladene Teilchen im Verbrennungsgas das Signal der Meßeinrichtung beeinflussen können. So wird beispielsweise bei Benzinmotoren die Zündkerze als Meßeinrichtung eingesetzt, indem die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases in der Funkenstrecke zwischen der Mittelelektrode und der Masseelektrode erfaßt wird, um die Folge erster Leitfähigkeitswerte zu ermitteln. Die

Folge zweiter Leitfähigkeitswerte wird bestimmt, indem an die Zündkerze eine negative Spannung angelegt wird und die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases in der Funkenstrecke erfaßt wird. In analoger Weise kann beim Dieselmotor die in den Zylinder ragende Glühkerze als Meßeinrichtung eingesetzt werden. Hierzu wird die Leitfähigkeit des zwischen der Glühkerze und der Innenwand des Zylinders befindlichen Verbrennungsgases durch Anlegen einer positiven bzw. einer negativen elektrischen Spannung erfaßt. Alternativ kann auch eine separate Meßeinrichtung in den Zylinder des Verbrennungsmotors ragen, um die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases zu bestimmen.

[0019] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispieles unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm, in dem zwei im Zylinder eines Verbrennungsmotors aufgenommene Leitfähigkeit-Meßsignalkurven bezogen auf den Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsmotors gezeigt sind, und

Fig. 2 ein Diagramm, in dem eine im Zylinder des Verbrennungsmotors aufgenommene Leitfähigkeits-Meßsignalkurve im Vergleich zu einer theoretisch ermittelten Leitfähigkeits-Referenzkurve bezogen auf den Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsmotors gezeigt ist.

[0020] Bei dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel wird das erfindungsgemäße Verfahren bei einem Dieselmotor eingesetzt. Zum Messen der Leitfähigkeit des im Zylinder befindlichen Verbrennungsgases wird eine Glühkerze des jeweiligen Zylinders des Dieselmotors verwendet. Die Glühkerze des jeweiligen Zylinders ist mit einem Referenzwiderstand in Reihe geschaltet und mit der Innenwand des Zylinders leitend verbunden. Zur Bestimmung der Leitfähigkeit des Verbrennungsgases im jeweiligen Zylinder auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen wird an die Glühkerze während eines Teils des Verdichtungshubes und eines Teils des Arbeitshubes eine positive Spannung angelegt. Durch die während des Verbrennungsprozesses entstehenden negativ geladenen Teilchen ändert sich die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases zwischen der Glühkerze und der Innenwand des Zylinders wodurch sich die am Referenzwiderstand abfallende Spannung ändert, die gemessen und zur Auswertung verstärkt wird. Die verschiedenen Spannungswerte werden als Folge erster Leitfähigkeitswerte in einem Speicher abgespeichert. Als Beispiel ist in den Figuren 1 und 2 eine positive Meßsignalkurve 10 dargestellt, die die Änderung der ersten Leitfähigkeitswerte bezogen auf den Kurbenwellenwinkel zeigt.

[0021] Nachdem die Folge erster Leitfähigkeitswerte abgespeichert und die positive Meßsignalkurve 10 erzeugt worden ist, wird anschließend an die Glühkerze eine negative Spannung angelegt und die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases zwischen der Glühkerze und der Innenwand des Zylinders erneut erfaßt. Dabei wird eine Folge zweiter Leitfähigkeitswerte abgespeichert. Als Beispiel ist in Fig. 1 eine negative Meßsignalkurve 12 bezogen auf den Kurbelwellenwinkel dargestellt.

[0022] Nachfolgend wird unter Bezugnahmen auf Fig. 1 das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert. Zu Beginn des Überwachungszeitraumes bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 30° vor dem oberen Totpunkt OT des Kolbens zeigen die beiden Meßsignalkurven 10 und 12 einen Wert von etwa 0 Volt. Ab einem Kurbelwellenwinkel von etwa 20° vor dem oberen Totpunkt OT des Kolbens beginnt die Motorsteuerung des Dieselmotors mit einer Voreinspritzung, bei der eine geringe Menge Dieselkraftstoff in den Zylinder eingespritzt wird, um das Innere des Zylinders vor der eigentlichen Haupteinspritzung zu erwärmen. Dies zeigt sich in den beiden Meßkurven 10 und 12 durch die kleinen Signalschwankungen 14 im Signalverlauf.

[0023] Ab einem Kurbelwellenwinkel von etwa 14° vor dem oberen Totpunkt OT entzündet sich der im Zylinder befindliche Kraftstoff, wodurch die Leitfähigkeit des Abgases zunimmt, wie den beiden Meßsignalkurven 10 und 12 durch die ersten Signalspitzen 16 und 18 zu entnehmen ist. Die beiden Signalspitzen 16 und 18 der beiden Meßsignalkurven 10 und 12 flachen nach einem plötzlichen Anstieg mit sehr steiler Flanke kontinuierlich wieder ab, bis sie bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 5° vor dem oberen Totpunkt OT etwa wieder 0 Volt zeigen. Etwa während dieses Zeitpunktes wird die eigentliche Haupteinspritzung des Kraftstoffes in den Zylinder vorgenommen. Durch die Voreinspritzung wurde, wie zuvor bereits erläutert, der Innenraum des Zylinders vorgewärmt, so daß der während der Haupteinspritzung eingespritzte Kraftstoff zumindest teilweise verdampft und sich gleichmäßig im Innenraum des Zylinders verteilt. Bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 2° nach dem oberen Totpunkt OT des Kolbens entzündet sich der Kraftstoff im Inneren des Zylinders, wodurch sich die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases verändert, wie die beiden zweiten Signalspitzen 20 und 22 in den Meßsignalkurven 10 und 12 zeigen, die ihr Maximum bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -7° bezogen auf den oberen Totpunkt OT des Kolbens besitzen.

[0024] Bis zu diesem Zeitpunkt verlaufen die positive Meßsignalkurve 10 und die negative Meßsignalkurve 12 bis auf kleinere Abweichungen zumindest annähernd identisch. Wird nun die Temperatur von 2000 K, bei der eine verstärkte Bildung von Stickoxiden auftritt, nicht erreicht, würde die positive Meßsignalkurve 10 in etwa den Verlauf der negativen Meßsignalkurve 12 zeigen, wie er in Fig. 1 zu sehen ist, und schließlich auf etwa 0 Volt absinken.

[0025] Liegt dagegen die Temperatur im Inneren des Zylinders über 2000 K, kommt es zu einer verstärkten Bildung von Stickoxiden im Verbrennungsgas, die auf-

grund des unterschiedlichen Meßprinzips zu einer Abweichung in den Verläufen der beiden Meßsignalkurven 10 und 12 führt, wie nachfolgend erläutert wird. So nimmt der Verlauf der positiven Meßsignalkurve 10 nach der zweiten Signalspitze 20 noch einmal zu und zeigt eine dritte Signalspitze 24, deren Maximum bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -17° bezogen auf den oberen Totpunkt OT bei etwa 3 Volt liegt. Nach Erreichen dieser dritten Signalspitze 24 fällt das Signal kontinuierlich ab, bis es bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -40° bezogen auf den oberen Totpunkt OT des Kolbens etwa 0 Volt zeigt.

[0026] Im Gegensatz dazu steigt die negative Meßsignalkurve 12 nur auf einen Wert von etwa 2,2 Volt, wie durch die zweiten Signalspitze 22 gezeigt wird. Anschließend fällt die negative Meßsignalkurve 12 unter Bildung einer dritten Signalspitze 26 mit einem Wert von etwa 1,2 Volt bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -15° bezogen auf den oberen Totpunkt OT des Kolbens sanft ab, bis sie bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -40° bezogen auf den oberen Totpunkt OT des Kolbens gleichfalls zumindest annähernd 0 Volt erreicht.

[0027] Zur Bestimmung, ob während des Verbrennungsprozesses im Zylinder des Dieselmotors eine verstärkte Bildung von Stickoxiden auftritt oder nicht, wird die die positive Meßsignalkurve 10 bildende Folge erster Leitfähigkeitswerte mit der die negative Meßsignalkurve 12 bildenden Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen. Liegt die Spitzentemperatur während des Verbrennungsprozesses unter einem Wert von etwa 2000 K, zeigen die beiden Meßsignalkurven 10 und 12 einen zumindest annähernd identischen Verlauf, wie vorher bereits erläutert wurde. Steigt dagegen die Spitzentemperatur während des Verbrennungsprozesses über 2000 K, die eine verstärkte Bildung von Stickoxiden im Verbrennungsgas zur Folge hat, weichen die beiden Meßsignalkurven 10 und 12 in ihrem Verlauf deutlich voneinander ab, wie vorher bereits erläutert wurde.

[0028] Hierdurch besteht die Möglichkeit, durch direkten Vergleich der Leitfähigkeitswerte der beiden Folgen zu erfassen, ob die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases in Abhängigkeit vom Meßprinzip voneinander abweichen oder nicht. Hierzu stehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung.

[0029] Bei der ersten Möglichkeit wird die Differenz zwischen jeweils zwei Leitfähigkeitswerten, die bei identischen Kurbelwellenwinkeln auftreten, gebildet und anschließend ermittelt, ob die Differenzen der nachfolgend miteinander verglichenen Leitfähigkeitswerte zunehmen oder zumindest eine Mindestabweichung zeigen. Ist dies der Fall, wird von einer verstärkten Bildung von Stickoxiden ausgegangen. Liegt dagegen die Differenz unter dieser maximal zulässigen Abweichung bzw. zeigen die beiden Kurven in ihrem Verlauf keine zunehmende Abweichung, wird von einem normalen Verlauf der Meßsignalkurven 10 und 12 ausgegangen, bei dem die Temperatur im Zylinder unter 2000 K lag und demzufolge keine verstärkte Bildung von Stickoxiden auftrat.

[0030] Bei der zweiten Möglichkeit werden die beiden Meßsignalkurven 10 und 12 über den relevanten Kurbelwellenwinkelbereich von -10° bis -40° bezogen auf den oberen Totpunkt OT des Kolbens integriert. Die dabei berechneten Flächeninhalte werden anschließend voneinander subtrahiert und die dabei entstehende Flächendifferenz, die in Fig. 1 schraffiert dargestellt ist, mit einer maximal zulässigen Flächendifferenz verglichen. Liegt die berechnete Flächendifferenz über dem maximal zulässigen Wert, liegt eine verstärkte Bildung von Stickoxiden vor. Liegt dagegen die berechnete Flächendifferenz unter dem vorgegebenen maximal zulässigen Wert, konnte eine verstärkte Bildung von Stickoxiden nicht nachgewiesen werden.

[0031] Die beiden zuvor beschriebenen Meßsignalkurven 10 und 12 wurden bei unmittelbar aufeinanderfolgenden Verbrennungsvorgängen im Zylinder des Dieselmotors bei einer Drehzahl von etwa 1000 Umdrehung pro Minute erfaßt, damit ein möglichst unmittelbarer Vergleich zwischen den beiden Meßsignalkurven 10 und 12 möglich ist.

[0032] Bei bestimmten Betriebsbedingungen des Dieselmotors ist die Bestimmung der negativen Meßsignalkurve 12 entweder nicht sinnvoll oder nicht möglich. Um dennoch einen Rückschluß auf eine eventuell verstärkte Bildung von Stickoxiden ziehen zu können, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ferner vorgeschlagen, zusätzlich im Speicher der Motorsteuerung einer Vielzahl zweiter Leitfähigkeitswerte abzuspeichern, die zuvor mit Hilfe von Testmotoren, empirischen Verfahren oder ähnliches ermittelt wurden. In Fig. 2 ist eine negative Referenzkurve 30 gezeigt, die auf derartigen, abgespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerten basiert. Auch die Referenzkurve 30 zeigt bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa 14° vor dem oberen Totpunkt OT des Kolbens eine erste Signalspitze 32, die anschließend wieder abfällt und bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -2° nach dem oberen Totpunkt OT des Kolbens unter Bildung einer zweiten Signalspitze 34 erneut ansteigt. Die zweite Signalspitze 34 fällt anschließend bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -7° nach dem oberen Totpunkt OT des Kolbens unter Bildung einer Geraden ab, bis sie schließlich bei einem Kurbelwellenwinkel von etwa -40° zumindest annähernd 0 Volt zeigt. Die Referenzkurve 30 wurde in Anlehnung an die negativen Meßsignalkurve 12 erstellt und wird in gleicher Weise zum Bestimmen einer möglichen, verstärkten Bildung von Stickoxiden gemeinsam mit der positiven Meßsignalkurve 10 verwendet.

[0033] So wird zunächst entsprechend den bei der Bestimmung der positiven Meßsignalkurve 10 vorliegenden Randbedingungen des beobachteten Verbrennungsvorganges, wie beispielsweise auf Grundlage der eingespritzten Menge an Kraftstoff, der Einspritzdauer, dem Einspritzverlauf und ähnlichem, aus den abgespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerten eine Folge zweiter Leitfähigkeitswerte gebildet, die bei den vorliegenden

Randbedingungen am geeignetsten erscheint. Anschließend wird die ausgewählte Folge zweiter Leitfähigkeitswerte, die durch die Referenzkurve 30 in Fig. 2 dargestellt ist, mit der gemessenen Folge erster Leitfähigkeitswerte verglichen, die in Fig. 2 durch die positive Meßsignalkurve 10 dargestellt ist.

[0034] Auch hier wird entweder die Differenz zwischen den Leitfähigkeitswerten gebildet oder aber über einen vorgegebenen Kurbelwellenwinkelbereich das Integral der beiden Kurven 10 und 30 gebildet und anschließend die Flächendifferenz berechnet. Der Verlauf der positiven Meßsignalkurve 10 kann entweder zumindest annähernd dem Verlauf der Referenzkurve 30 entsprechen, wodurch angezeigt wird, daß keine verstärkte Bildung von Stickoxiden aufgetreten ist. Oder der Verlauf der positiven Meßsignalkurve 10 zeigt eine deutliche Abweichung von dem Verlauf der Referenzkurve 30, was als Hinweis auf eine verstärkte Bildung von Stickoxiden zu werten ist.

[0035] Sollte nun die Motorsteuerung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine verstärkte Bildung von Stickoxiden erfassen, kann das Ergebnis dieser Überprüfung für verschiedene Funktionen weiterverarbeitet werden. So kann das Ergebnis der Auswertung zu Diagnosezwecken eingesetzt werden, beispielsweise um anzuzeigen, daß trotz der vorgegebenen definierten Einspritzmenge an Kraftstoff, der Einspritzdauer und des Einspritzzeitpunktes eine Abweichung von der theoretisch angenommenen Leitfähigkeit des Verbrennungsgases und damit von dem Anteil an Stickoxiden im Abgas vorliegt. Des weiteren kann die Auswertung mit einem Signal verglichen werden, das die Motorsteuerung von der in Strömungsrichtung gesehen nach dem Katalysator angeordneten Lambdasonde erhält. Treten beispielsweise während der Verbrennung verstärkt Stickoxide auf und werden diese durch den Katalysator nicht ausreichend katalysiert, wird dies von der Lambdasonde erfaßt und kann als Hinweis auf das Vorliegen einer Fehlfunktion des Katalysators gewertet werden.

[0036] Des weiteren besteht die Möglichkeit, das Ergebnis der Auswertung für eine Regelung des Motorbetriebes zu verwenden, um beispielsweise die Verbrennungsvorgänge durch bekannte Verfahren, wie beispielsweise durch eine Abgasrückführung, eine Veränderung des Einspritzzeitpunktes, eine Veränderung der Einspritzmenge, eine Veränderung des Zeitpunktes der Voreinspritzung und ähnliches, gezielt zu beeinflussen. Durch die Einbeziehung des erfindungsgemäßen Verfahrens in den geschlossenen Regelkreis des Dieselmotors kann überprüft werden, ob durch eine oder mehrere der zuvor beschriebenen Einstellmöglichkeiten der Verbrennungsprozeß so zuvor beeinflußt worden ist, daß eine verstärkte Bildung von Stickoxiden nicht mehr auftritt.

Bezugszeichenliste

[0037]

10	positive Meßsignalkurve
12	negative Meßsignalkurve
14	Signalschwankungen
16	erste Signalspitze der positiven Meßsignalkurve
18	erste Signalspitze der negativen Meßsignalkurve
20	zweite Signalspitze der positiven Meßsignalkurve
22	zweite Signalspitze der negativen Meßsignalkurve
24	dritte Signalspitze der positiven Meßsignalkurve
26	dritte Signalspitze der negativen Meßsignalkurve
30	Referenzkurve
32	erste Signalspitze der Referenzkurve
34	zweite Signalspitze der Referenzkurve

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der verstärkten Bildung von Stickoxiden während der Verbrennung fossiler Brennstoffe, insbesondere während der Verbrennung in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors,

   bei dem eine Folge erster Leitfähigkeitswerte der während eines Verbrennungsvorganges vorliegenden Verbrennungsgase bestimmt wird, die auf Grundlage der im Verbrennungsgas enthaltenen negativ geladenen Teilchen gebildet wird,
   bei dem die Folge erster Leitfähigkeitswerte mit einer Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verglichen wird, die auf Grundlage positiv geladener Teilchen gebildet worden ist, welche in einem unter zumindest annähernd identischen Randbedingungen erfolgten weiteren Verbrennungsvorgang im Verbrennungsgas auftreten, und
   bei dem eine verstärkte Bildung von Stickoxiden während der Verbrennung dann festgestellt wird, wenn die Folge erster Leitfähigkeitswerte und die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte während des Vergleiches zunehmend voneinander abweichen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte während des weiteren Verbrennungsvorganges bestimmt wird, indem die im Verbrennungsgas enthaltenen positiv geladenen Teilchen erfaßt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Folge zweiter Leitfähigkeitswerte aus einer Vielzahl gespeicherter zweiter Leitfähigkeitswerte in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Verbrennungsvorganges ausgewählt wird, während dem

die Folge erster Leitfähigkeitswerte bestimmt wird bzw. wurde.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 2 und 3, bei dem in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Verbrennungsvorganges entweder die auf Grundlage der während des weiteren Verbrennungsvorganges erfaßten positiv geladenen Teilchen bestimmte Folge zweiter Leitfähigkeitswerte oder die aus den gespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerten ausgewählte Folge zweiter Leitfähigkeitswerte verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die gespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte zumindest teilweise auf Grundlage empirischer Auswertungen bestimmt wurden.

6. Verfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5, bei dem die gespeicherten zweiten Leitfähigkeitswerte zumindest teilweise durch Approximation aus der eingespritzten Kraftstoffmenge der Einspritzdauer und/oder dem Einspritzverlauf bestimmt worden sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem die aus den abgespeicherten Leitfähigkeitswerten ausgewählte Folge zweiter Leitfähigkeitswerte vor dem Vergleich mit der Folge erster Leitfähigkeitswerte in Abhängigkeit von den Randbedingungen des tatsächlich erfolgenden Verbrennungsvorganges rechnerisch angepaßt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zum Vergleich der beiden Folgen von Leitfähigkeitswerten der Reihe nach aus jeder Folge jeweils ein Leitfähigkeitswert mit einem Leitfähigkeitswert der anderen Folge verglichen wird und die beiden miteinander zu vergleichenden Leitfähigkeitswerte bei zumindest annähernd identischen Randbedingungen der Verbrennungsvorgänge auftreten.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem jeweils die Differenz zwischen zwei Leitfähigkeitswerten der beiden Folgen zum Vergleich gebildet wird, und bei dem eine verstärkte Bildung an Stickoxiden dann festgestellt wird, wenn die Differenz der jeweils nachfolgend miteinander verglichenen zwei Leitfähigkeitswerte der beiden Folgen zumindest konstant bleibt oder größer wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem aus den Folgen der ersten und der zweiten Leitfähigkeitswerte Kurven bezogen auf die Zeit gebildet werden, die miteinander verglichen werden, und bei dem vorzugsweise durch Berechnen der Flächeninhalte der beiden Kurven und durch Subtraktion der Flächeninhalte voneinander das Vorliegen einer verstärkten Bildung von Stickoxiden beurteilt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem eine verstärkte Bildung von Stickoxid festgestellt wird, wenn die durch Subtraktion berechnete Flächendifferenz einen vorgegebenen Maximalwert übersteigt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases durch eine die Verbrennung zumindest zeitweise überwachende Meßeinrichtung erfaßt wird, wobei zum Bestimmen der Folge erster Leitfähigkeitswerte eine positive elektrische Spannung an die Meßeinrichtung angelegt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Leitfähigkeit des Verbrennungsgases durch eine die Verbrennung zumindest zeitweise überwachende Meßeinrichtung erfaßt wird, wobei zum Bestimmen der Folge zweiter Leitfähigkeitswerte eine negative elektrische Spannung an die Meßeinrichtung angelegt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Verbrennungsvorgänge im Zylinder eines Verbrennungsmotors erfolgen und jeweils über einen vorgegebenen Zeitraum überwacht werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem der jeweilige Verbrennungsvorgang während des Verdichtungshubs und während des Arbeitshubs des betreffenden Zylinders überwacht wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem aus den Folgen der ersten und zweiten Leitfähigkeitswerte Kurven bezogen auf den Kurbelwellenwinkel des überwachten Zylinders gebildet werden, die miteinander verglichen werden.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Folgen erster und zweiter Leitfähigkeitswerte bei unmittelbar aufeinander folgenden Verbrennungsvorgängen bestimmt werden.

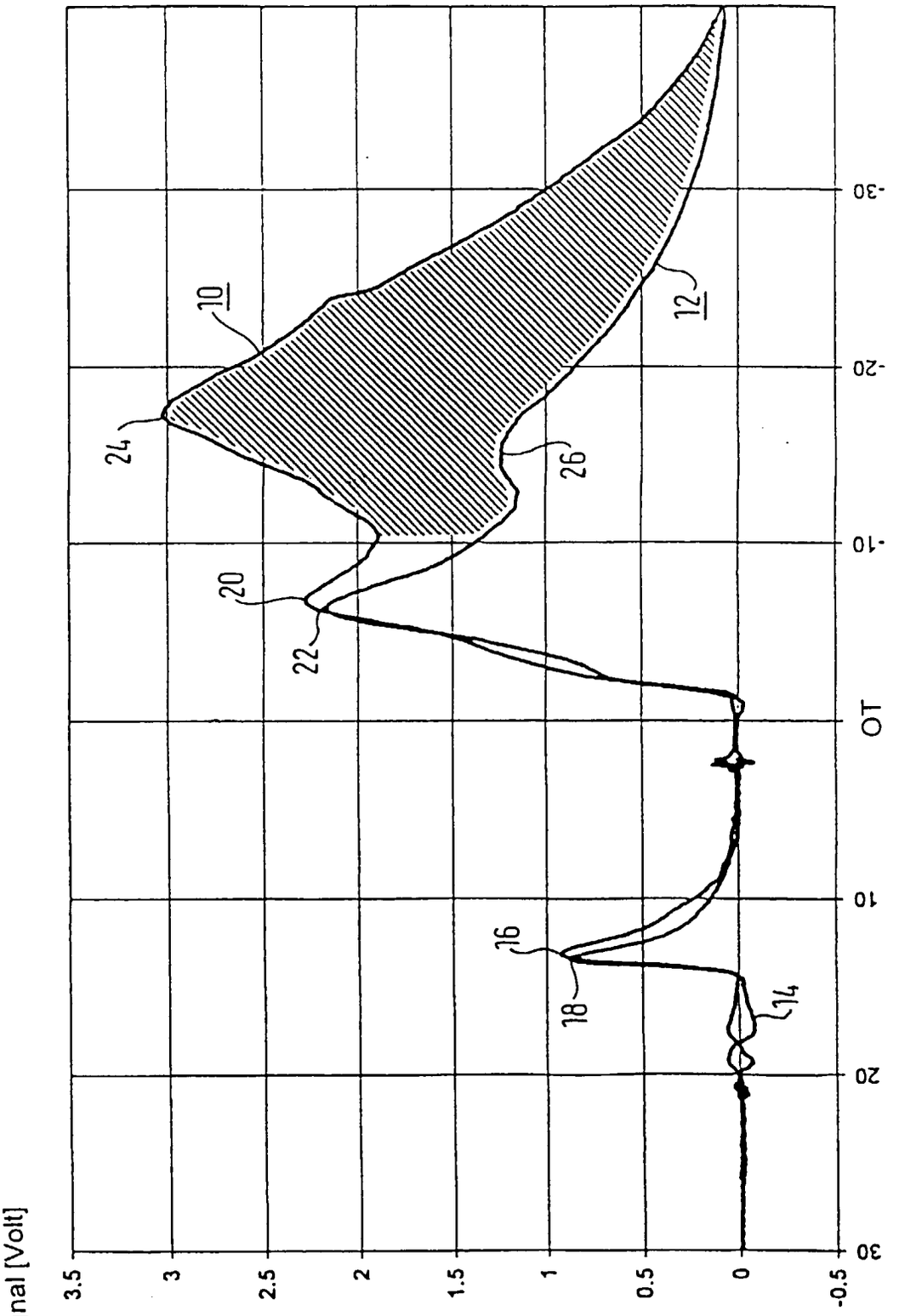

Meßsignal [Volt]
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
30
20
10
OT
10
20
30
Kurbelwellenwinkel [Grad]
10
12
14
16
18
20
22
24
26

Fig. 1

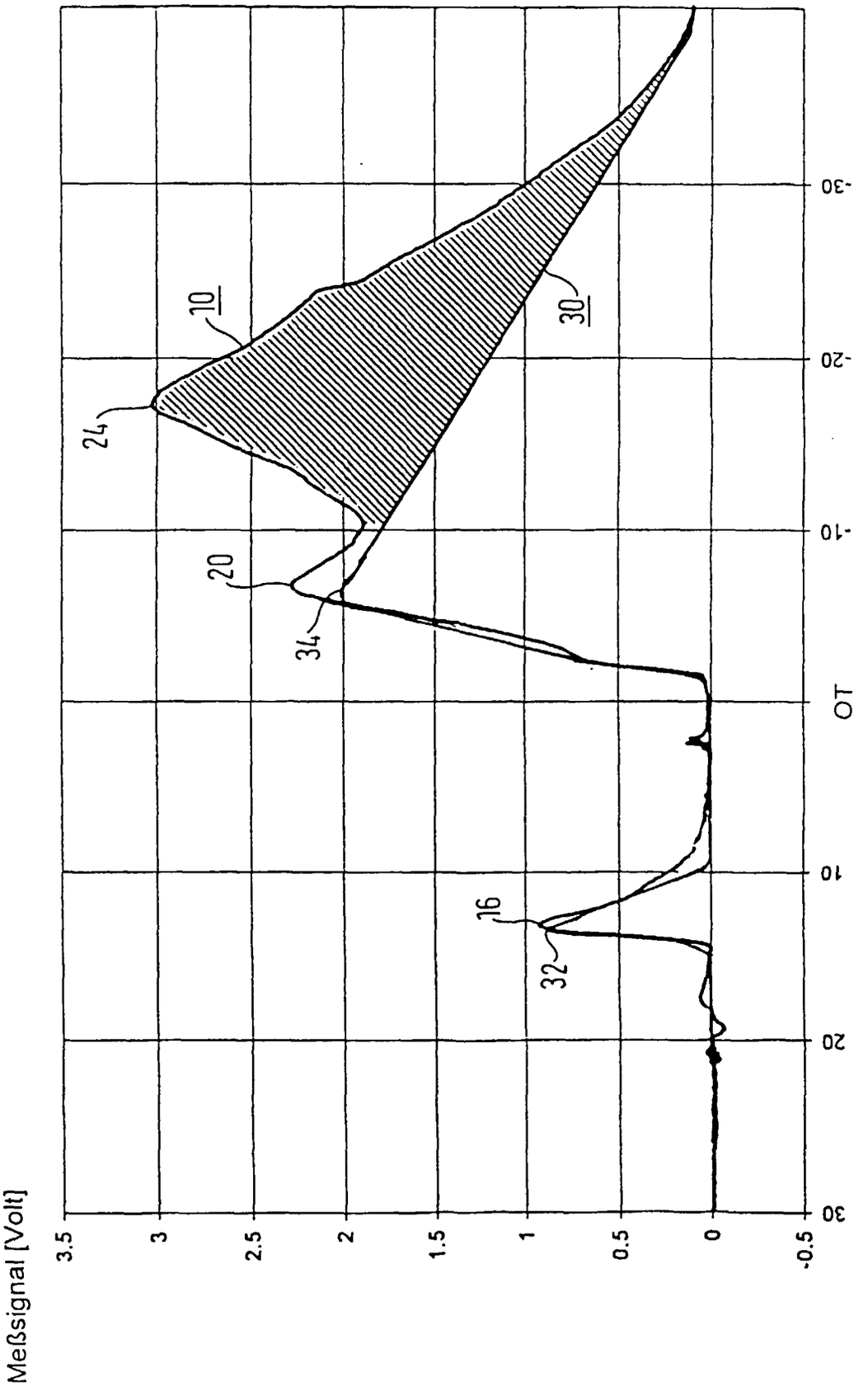

Meßsignal [Volt]
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
30
20
10
OT
10
20
30
Kurbelwellenwinkel [Grad]
10
24
20
34
30
16
32

Fig. 2