

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer:	A 659/2009	(51) Int. Cl. :	F01N 11/00	(2006.01)
(22) Anmeldetag:	29.04.2009		G01M 15/10	(2006.01)
(45) Veröffentlicht am:	15.01.2012		F02D 41/18	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102005016075B4
DE 10206402C1
DE 102006055542A1
US 6035632A

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

(72) Erfinder:
COMBE TIMO DR.
WEINITZEN (AT)
CARTUS THOMAS DIPL.ING.
SEIERSBERG (AT)
SCHUESSLER MARTIN DR.
GRAZ (AT)
ENGELJEHRINGER KURT DR.
GRAZ (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR DYNAMISCHEN TOTZEITKOMPENSATION DER ABGASKONZENTRATION**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Totzeitkompensation der Abgaskonzentration zumindest einer Abgaskomponente bei einer Abgasmessung in einer Abgasanlage einer Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:

- Festlegen einer Bezugskenngroße;
- Definieren zumindest einer Messstrecke zwischen einer Abgasentstehungsstelle (A1) und zumindest einer Messstelle (B1, B2, B3);
- Ermitteln von Parametern der Messstrecke zur Bestimmung der Totzeit als Funktion der Bezugskenngroße;
- Durchführen einer Messung der Bezugsgröße und der Abgaskonzentration im dynamischen Betrieb;
- Durchführen einer inversen Filterung der Abgaskonzentration;
- Definieren einer das Durchlaufen der gesamten Messstrecke durch jeweils ein Messsample beschreibenden Transportbedingung;
- Kompensieren der Abgaskonzentration bezüglich ihrer Totzeit auf Grund der ermittelten Parameter der Messstrecke, wobei das Erfüllen der Transportbedingung geprüft wird.

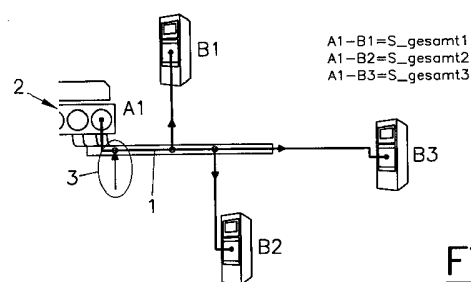


Fig.1

Mit dem Verfahren kann die Qualität der dynamischen Informationen wesentlich verbessert werden

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dynamischen Totzeitkompensation der Abgaskonzentration zumindest einer Abgaskomponente bei einer Abgasmessung in einer Abgasanlage einer Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:

[0002] - Festlegen einer Bezugskenngroße;

[0003] - Definieren zumindest einer Messstrecke zwischen einer Abgasentstehungsstelle (A1) und zumindest einer Messstelle;

[0004] - Ermitteln von Parametern der Messstrecke zur Bestimmung der Totzeit als Funktion der Bezugskenngroße;

[0005] - Durchführen einer Messung der Bezugskenngroße und der Abgaskonzentration zumindest einer Abgaskomponente im dynamischen Betrieb.

[0006] Zur Abgas-Zertifizierung eines Fahrzeuges wird üblicherweise ein vorgegebener dynamischer Fahrzyklus abgefahren. Die Emissionen während dieses Zyklus sollen vollständig gesammelt und gemessen werden. Da diese wegen der großen anfallenden Gasmasse insgesamt nicht praktikabel ist, wird mit einem gleichmäßig sammelnden Verfahren eine Teilprobe genommen (= integrale Messmethode). Diese Methode wird auch von der Gesetzgebung gefordert. Die technische Vorrichtung dazu ist eine sogenannte "CVS-Anlage" (CVS = constant volume sampling). Der Abgasmassenstrom wird verdünnt und als Teilmenge eines konstanten Volumenstromes gefördert. Ein ebenfalls konstanter Teilvolumenstrom wird zur Probenahme verwendet. Die Proben werden in Beutel gefüllt (üblicherweise drei Abgasbeutel + drei Reinluftbeutel, um die Hintergrundkonzentration zu erfassen).

[0007] Dieses Verfahren mit maximaler Ergebnisqualität hat die Nachteile, dass einerseits die zeitlich aufgelöste Information der Emissionsentstehung verloren geht, und andererseits CVS-Anlagen üblicherweise sehr teuer und groß sind. Sie stehen damit nicht auf allen Prüfständen zur Verfügung. Darüber hinaus ist das integrale Zyklusergebnis nicht nur auf Rollenprüfständen, sondern auch auf Motorenprüfständen von Interesse. Zusätzlich muss die zeitlich aufgelöste Information des Emissionsverlaufes zur Verfügung stehen, um die Entwicklung des Prüflings zielgerichtet betreiben zu können.

[0008] An Motorenprüfständen wird daher üblicherweise direkt und unverdünnt aus der Auspuffanlage mit Abgasmessanlagen ein Teilstrom des Abgases entnommen und über eine beheizte Leitung einer Folge von Analysatoren zugeführt. Dieser Standardaufbau ist sowohl für stationäre Messungen, als auch für dynamische Messungen geeignet. Damit steht die zeitaufgelöste Information des Konzentrationsverlaufes zur Verfügung. Aus der Verrechnung des Luftmassenstromes, der Einspritzmenge und der Abgaskonzentration kann durch Integration des Emissionswertes die Gesamtemission bestimmt werden. Auf diese Weise lässt sich das integrale Ergebnis ebenfalls darstellen. Das Verfahren wird als "modale Analyse" bezeichnet. Es hat jedoch eine geringe Vorhersagezuverlässigkeit der absoluten Werte. Hier werden Unterschiede von 3 % bis zu 40 % zur integralen Analyse (Beutelmessung) beobachtet.

[0009] Da die Zeitverzögerungen des Gastransportes und des Messverfahrens größer sind als die Arbeitsspieldynamik und Füllungsdynamik der Brennkraftmaschine, kann die "wahre" Emission nicht direkt gemessen werden. Eine Sprunganregung einer Stellgröße der Brennkraftmaschine ist beispielsweise in den Antwortgrößen (wie z.B.: NO_x) nur als "s-förmiger" Anstieg erkennbar. Dies ist einerseits in der motorischen Dynamik begründet, aber auch in der Dynamik der Messkette. Bei dem beschriebenen Standardaufbau ist die Dynamik der Messkette dominant.

[0010] Bei der Modalanalyse kommen mehrere prinzipbedingte Schwierigkeiten zusammen, die die Vergleichbarkeit zur integralen CVS-Analyse beeinträchtigen. Einerseits sind statistische Abweichungen der Analysatoren und der Probenahme relevant, andererseits dynamische Abweichungen durch die Signalverschleifung. Darüber hinaus steht prinzipiell nur ein kurzer Zeitraum zur Messung zur Verfügung, da zwischen zwei Zeitschritten des kontinuierlichen

Messschriebes nur geringe Möglichkeiten zur Mittelwertbildung (und damit zur Steigerung der Ergebnisqualität) bestehen. Im folgenden Zeitschritt liegt bereits eine neue Information vor. Diese Situation betrifft jegliches dynamisches Signal. Da zur Emissionsbestimmung mehrere Signale verrechnet werden müssen, ist hier die Synchronisation (also die Information, welche Konzentration zu welchem Massenstrom gehört) eine wichtige Anforderung. Besonders die Konzentrationsmessung ist jedoch Totzeitbehaftet und dynamisch verschleppt. Sowohl Totzeit, als auch Anstiegsdynamik können variabel und abhängig von den Betriebsbedingungen sein.

[0011] Die derzeitige Behandlung der kontinuierlichen Dynamik besteht aus einer unvariablen Kompensation der Totzeit. Zur Ermittlung der Totzeit werden mit Anregung der Stellgrößen der Brennkraftmaschine verschiedene Sprungfolgen gefahren. Für jede Abgaskomponente wird die Totzeit separat ermittelt. Die kleinste gemessene Totzeit wird verwendet (Überkompensation muss vermieden werden), um eine entsprechende Verschiebung in der Zeitspur der Abgaskonzentration vorzunehmen. Die dynamische Kompensation der Totzeit ist allerdings relativ schwierig, da die "Dehnung und Stauchung" der Abgassäule aufgrund verschiedener Fördermengen nicht analytisch exakt aufgelöst werden kann. Hierbei kommt es zu systematischen Fehlern.

[0012] Aus der DE 10 2005 016 075 B4 ist ein Verfahren zur Diagnose einer dem Abgaskatalysator einer Brennkraftmaschine zugeordneten Lambdasonde bekannt, wobei bei einem bekannten ersten und zweiten Abgasmassenstrom durch den Abgaskatalysator gemessen wird, wie groß die jeweilige Zeitverzögerung ist, bis sich ein Sprung des Lambdasignals vor dem Abgaskatalysator bei dem Lambdasignal der dem Abgaskatalysator zugeordneten Lambdasonde zeigt. Basierend auf den gemessenen Zeitverzögerungen wird ermittelt, wie groß der von dem Abgasmassenstrom abhängige katalysatorbedingte Anteil und wie groß der im Wesentlichen von dem Abgasmassenstrom unabhängige sondenbedingte Anteil an den Zeitverzögerungen ist, wobei der sondenbedingte Anteil als Diagnosekriterium für die Lambdasonde verwendet wird. Das Problem der "Dehnung und Stauchung" der Abgassäule bei Betriebspunktwechsel kann nicht gelöst werden. Die Identifikation ist nur auf den Katalysator begrenzt.

[0013] Die US 6,035,632 A offenbart ein Verfahren zur Überprüfung der Katalysatoreffektivität, bei dem die Abgastransportzeit in Abhängigkeit des Abgasmassenstroms berücksichtigt wird, wobei als Bezugsgröße der Sauerstoffgehalt des Abgases herangezogen wird.

[0014] Die DE 102 06 402 C1 beschreibt ein Verfahren zur zylinderselektiven Lambda-Regelung, wobei die Lambda-Amplituden eines einzelnen Zylinders gegenüber den Lambda-Werten für die übrigen Zylinder angeregt werden. Aus dem Verlauf der Ist-Werte werden unter Berücksichtigung der Anregungs-Amplituden die Lambda-Ist-Werte für die Zylinder bestimmt. Dabei wird das Laufzeitverhalten der Regelungsstrecke durch eine Kompensation der Totzeit und der Sondenansprechzeit verzögert.

[0015] Die DE 10 2006 55 542 A1 zeigt ein Verfahren zur Diagnose einer Abgasreinigungskomponente eines Kraftfahrzeuges mit einem Verbrennungsmotor. Dabei wird ein erster kumulierter Endrohremissionswert für ein Zeitintervall, ein Betriebsintervall oder ein Streckenintervall einer beliebigen Betriebsweise des Verbrennungsmotors gemessen und ein Erwartungswert einer Endrohremission bei angenommenem Betrieb des Verbrennungsmotors in einem standardisierten Testverfahren durch Verrechnen des gemessenen ersten kumulierten Endrohremissionswertes mit Kenndaten des Verbrennungsmotors des Kraftfahrzeuges ermittelt.

[0016] Aufgabe der Erfindung ist es, die genannten Nachteile zu vermeiden und ein Verfahren zur dynamischen Totzeitkompensation vorzuschlagen, mit welchem genauere Ergebnisse ermöglicht werden können.

[0017] Erfindungsgemäß wird dies durch folgende Schritte erreicht:

[0018] - Durchführen einer inversen Filterung der Abgaskonzentration;

[0019] - Definieren einer das Durchlaufen der gesamten Messtrecke durch jeweils ein Messsample beschreibenden Transportbedingung;

[0020] - Kompensieren der Abgaskonzentration bezüglich ihrer Totzeit auf Grund der ermittelten Parameter der Messstrecke, wobei das Erfüllen der Transportbedingung geprüft wird.

[0021] Die Parameter können entweder auf der Basis der Prüfstandskennntnis abgeschätzt oder messdatenbasiert bestimmt werden.

[0022] Bei der Messdatenbasierten Bestimmung der Parameter können folgende Schritte vorgesehen sein:

[0023] - Bereitstellen einer Eindüsenanlage für Messgas am Beginn der Messstrecke;

[0024] - Durchführen zumindest einer Anregung durch Einstellen zumindest eines stationären Luftmassenstromes in der Messstrecke und Einleiten des Messgases im Bereich der Abgasentstehungsstelle der Messstrecke, wobei

[0025] i. zwischen Abgasentstehungsstelle und Messstelle periodisch Messgas eingeleitet und die Totzeit der Anregung an der Messstelle bestimmt wird;

[0026] ii. sprunghaft zumindest einmalig an der Abgasentstehungsstelle Messgas eingeleitet und die folgende Sprungantwort eines an der Messstelle ermittelt wird.

[0027] Dabei erfolgt durch ein oder mehrmaliges Einleiten des Messgases eine synthetische Sprunganregung und/oder eine periodische Anregung, wobei auf Grund dieser Anregung die Dynamik der Messstrecke isoliert erfasst wird. Auf Grund der Sprungantwort können die Parameter zumindest eines Verzögerungsgliedes zweiter Ordnung abgeschätzt werden, um auf der Basis der inversen Verzögerungsglieder die inverse Filterung der Abgaskonzentration durchzuführen.

[0028] Die Kompensationsrechnungen beruhen auf dem Ansatz, dass das Abgas nach seiner Entstehung zunächst transportiert wird (Totzeit) und anschließend verzögert wird (Durchmischungseffekte, Verschleppungs-Abweichungen von einer idealen Pfropfenströmung und Befüllung der Messküvette im Katalysator). In der Realität finden diese Vorgänge größtenteils gleichzeitig statt. Der Ansatz führt bei den Kompensationsrechnungen zu der Konsequenz, dass das gemessene Signal zuerst invers gefiltert werden muss und anschließend der dynamischen Totzeitkompensation zugeführt wird. "Schnelle" Gasdynamik wie Druckpulsationen wird nur implizit berücksichtigt, da das Verhalten jeder Entnahmestelle separat identifiziert wird.

[0029] Die Transportbedingung wird vorteilhafter Weise durch

$$\sum s_{inc_i} = 1$$

[0030] definiert wird, wobei S_{inc_i} ein relatives Streckenelement, bezogen auf die gesamte Messstrecke S , beschreibt.

[0031] Im Rahmen der Erfindung kann weiters vorgesehen sein, dass für die Messstrecke eine Transportbedingung definiert wird und dass bei der Totzeitkompensation das Erfüllen der Transportbedingung geprüft wird.

[0032] Versuche haben gezeigt, dass die besten Ergebnisse erzielt werden können, wenn als Bezugskenngroße der Luftmassenstrom der Brennkraftmaschine, insbesondere der Abgasmassenstrom verwendet wird. Der Abgasmassenstrom setzt sich gemäß der idealisierten Kontinuitätsgleichung aus dem Luftmassenstrom und dem Kraftstoffmassenstrom zusammen.

[0033] Insbesondere bei großem Abstand zwischen dem Luftmassenstromsensor und dem Zylinder oder relativ großem dazwischenliegendem Saugvolumen wird nach der Messung der Bezugskenngroße vorzugsweise deren Zeitschrieb zunächst (offline) gefiltert, um die Dynamik auf den Zylinder zu kompensieren (gilt für das Signal des Luftmassensensors, welches Hauptbestandteil zur Erzeugung eines Abgasmassenstromsignals darstellt).

[0034] In weiterer Folge kann auf der Basis der totzeitkompensierten Abgaskonzentration für

zumindest eine Abgaskomponente ein dynamischer Emissionsverlaufes synchronisationsrichtig erstellt werden.

[0035] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert.

[0036] Es zeigen schematisch

[0037] Fig. 1 eine Messanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0038] Fig. 2 den Signalweg bei der Messung,

[0039] Fig. 3 eine Veranschaulichung der Transportbedingung,

[0040] Fig. 4 eine Totzeitkompensation mit fixem Offset,

[0041] Fig. 5 eine Totzeitkompensation mit dynamischem Anteil und verletzter Transportbedingung und

[0042] Fig. 6 eine Totzeitkompensation mit dynamischem Anteil und erfüllte Transportbedingung.

[0043] Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Prüfstandes. An den Abgasstrang 1 der Brennkraftmaschine 2 sind mehrere Messstellen B1, B2, B3 angeordnet. Dabei handelt es sich um modal messende CEB-Analysator. Die Messstrecke von der Abgasentstehungsstelle A1 (Zylinderbank) der Brennkraftmaschine 2 zur Messstelle B1, B2, B3 ist jeweils konstant.

[0044] Um eine Sprunganregung zu erreichen, wird im Abgastrakt 1 in Auslassnähe im Bereich 3 der Abgasentstehungsstelle A1 ein Prüfgas eingedüst. Die Konzentration der Prüfgaskomponenten sollte möglichst hoch sein, damit nur geringe Massenströme der Zumischung notwendig sind. Die Eindüsung erfolgt durch ein schaltbares Gasventil, das über ein Reservoir mit vorgeschaltetem Druckregelventil mit Prüfgas versorgt wird. Eine Vormischung des Prüfgases wird mit dem Aufbau vermieden, dass so die Sprunganregung nicht im Vorhinein verschleift wird.

[0045] Die Eindüsung sollte möglichst zylindernah erfolgen, da dieser als Bezugspunkt der Synchronisation der verschiedenen Messsignale gewählt wurde.

[0046] Die Größenordnung der zu erwartenden Konzentrationen im Abgas wird mit Mischungsrechnungen abgeschätzt. Da unterschiedliche Massenströme seitens der Brennkraftmaschine gefahren werden sollen, sind unterschiedliche Konzentrationsniveaus zu erwarten. Hier ist die größte maßgeblich, da eine nennenswerte Größenänderung mit dem jeweiligen Analysator messbar sein muss. Die Sprungweite soll möglichst groß sein. Besonders die Zusatzverdünnung des Gesamtabgases durch den CVS-Analysator führt für die modale Tunnelentnahme und integrale Beutelmessungen zu niedrigen Messwerten. Die Brennkraftmaschine muss geschleppt und gefeuert betrieben werden, um eine große Spreizung des Massenstromes erreichen zu können.

[0047] Das Prinzip einer Kompensationsrechnung mit Hilfe eines Verhaltensmodells ist in Fig. 2 dargestellt. In Fig. 2 ist mit Bezugszeichen 10 der tatsächliche Konzentrationsverlauf K des Abgasmesssystems 20 an der Messstelle und mit 11 der verfälschte Konzentrationsverlauf am Ausgang des Messgerätes 14 - nach Durchlauf der Messleitung 12 und des Presamplers 13 - bezeichnet. Mit dem Modell 15 soll mittels Kompensationsrechnungen der tatsächliche Konzentrationsverlauf 10 aus dem verfälschten Konzentrationsverlauf 11 angenähert werden.

PARAMETERSCHÄTZUNG

[0048] Die Ordnung des Modellansatzes des mathematischen Modells sollte dabei so gering wie möglich gewählt werden, da die inverse Filterung mit robusten Parametern erfolgen muss. Als Zielkonflikte ergibt sich hier, dass eine zu niedrige Ordnung ebenfalls zu einer Fehlkompensation führt, da die Zeitkonstanten/Parameter dann zu hoch geschätzt werden, was zu einer Überkompensation führt. Die Parameterabschätzung kann beispielsweise durch die Plattformunabhängige Software "MATLAB" des Unternehmens THE MATH WORKS, INC. durchgeführt werden.

den. Mit dem MATLAB - Werkzeug "CURVE FITTING TOOL" ("CF-Tool") kann eine benutzerdefinierte Gleichung entsprechend der Lösung der Differenzialgleichung eines gewählten Modellansatzes beschrieben werden. Ein gemessener Verlauf der Sprungantwort wird durch die vorgegebene Gleichungsstruktur approximiert. Eine Abweichungsrechnung zwischen den Messwerten und dem jeweiligen Gleichungsergebnis wird durchgeführt und nach einem geeigneten Algorithmus minimiert. Die Parameter der approximierten Lösung werden damit direkt bestimmt.

[0049] Es hat sich gezeigt, dass Parameterabschätzungen mit einem Verzögerungsglied erster Ordnung (PT1) nicht zu einer robusten Identifikation führen.

[0050] Das mathematische Modell kann Verzögerungsglieder erster und/oder zweiter Ordnung beinhalten.

[0051] Für ein Verzögerungsglied zweiter Ordnung muss bei der Bestimmung der Lösung eine Fallunterscheidung vorgenommen werden. Prinzipiell ist ein solches Übertragungsglied schwingungsfähig. Dem zufolge hängt es von den Parametern ab (die die Dämpfung bestimmen), ob das System tatsächlich schwimmt (periodischer Fall) oder in einer monotonen Funktion sich den Wert des Verstärkungsfaktors (bzw. Zielwert) annähert (aperiodischer Fall und aperiodischer Grenzfall). Die Sprungantwort eines Abgasanalysegerätes soll durch ein aperiodisches System angenähert werden. Für diesen Fall ist die Lösung der Differenzialgleichung wie folgt dargestellt:

$$y(t) = K - \frac{K}{T_1 - T_2} \left[T_1 e^{\frac{t}{T_1}} - T_2 e^{\frac{t}{T_2}} \right] \quad (1),$$

[0052] wobei y das Ausgangssignal, t eine Zeitvariable, K eine Proportionalitätskonstante, T₁ und T₂ Zeitkonstanten darstellen.

[0053] "Inverse Filterung" bedeutet, dass ein bekanntes Ausgangssignal (=Messsignal) auf das unbekannte Eingangssignal zurückgeführt wird. Da die Übertragungsfunktion der Messtechnik das Eingangssignal "filtert", wird durch mathematische Beschreibung dieser Filterung die Umkehrrechnung ermöglicht. Die Durchführung der inversen Filterung wird mit Kenntnis der Zeitkonstanten aus den Parameterabschätzungen des mathematischen Modells vorgenommen. Dazu werden die gemessenen Signale geglättet. Anschließend werden die Ableitungen entsprechend dem Zeitraster und der gewählten Ordnung gebildet. Mit den vektoriell formulierten Differentialgleichungen kann das gesuchte Eingangssignal bestimmt werden.

[0054] Differentialgleichung erster Ordnung:

$$k_e = T \cdot Dk_{\text{aintgg}} + k_{\text{aintgg}} \quad (2)$$

[0055] Differentialgleichung zweiter Ordnung:

$$k_e = D^2 k_{\text{intgg}} \cdot (T_1 \cdot T_2) + (T_1 + T_2) \cdot Dk_{\text{aintgg}} + k_{\text{aintgg}} \quad (3)$$

[0056] Wobei k_a das Ausgangssignal, k_{aintgg} das geglättete Ausgangssignal, Dk_{aintgg} die erste Ableitung des geglätteten Ausgangssignals und D²k_{intgg} die zweite Ableitung des geglätteten Ausgangssignals ist. T₁ und T₂ sind Zeitkonstanten.

[0057] Da es sich beim inversen Filtern um eine Art Hochpassfilterung handelt, würde das Rauschen unerwünscht verstärkt werden. Diese Schwierigkeiten können durch Glätten des Messsignals und mit der zeitlichen Ableitung vermindert werden. Hier sind die Möglichkeiten jedoch insofern begrenzt, da jedes Verfahren der Glättung selbst eine Tiefpass-Filterung darstellt, bei der der Zielkonflikt zwischen Vermeidung der Rauschverstärkung und Erhaltung der zu verstärkenden dynamischen Information besteht.

TOTZEITKOMPENSATION

[0058] Die Totzeit des Systems wird als Transportzeit des Gases von der Entstehung bis zum Analysator aufgefasst. Das bedeutet, dass sie physikalisch vor der Verzögerung erfolgt. Für

eine Entsprechende Kompensationsrechnung bedeutet dies, dass zunächst die inverse Filterung und anschließend die Totzeitkompensation durchgeführt werden muss. Der zentrale Ansatz, die Kenngrößen der Totzeit und der Verzögerung auf den Abgasmassenstrom zu beziehen, ermöglicht eine wichtige Verbesserung der Kompensation. Eine Variabilität dieser Größen kann bei bekannter Abhängigkeit permanent dynamisch miterfasst werden und in einer Kompensationsrechnung berücksichtigt werden. Besonderes für die Totzeit kann bei der Beschreibung für eine inkompressible Pfropfenströmung der Zeitschrieb analytisch nahezu exakt korrigiert werden.

[0059] Der Ansatz wird im Folgenden beschrieben.

[0060] Die Fig. 1 zeigt die Anordnung der drei modal messenden Messstellen B1, B2, B3 (CEB-Anlagen). Die Transportstrecke $S_{gesamt\ 1}$, $S_{gesamt\ 2}$, $S_{gesamt\ 3}$ von der Abgasentstehungsstelle A1 der Zylinderbank der Brennkraftmaschine 2 bis zur jeweiligen Messstelle B1, B2, B3 ist konstant. Diese Information erlaubt die Verarbeitung der Gleichungen für eine gleichförmige Bewegung.

$$S = v \cdot t \quad (4)$$

[0061] Übertragen auf kleinere Wegelemente, die auf summiert die Gesamtstrecke S_{gesamt} ergeben, gilt:

$$\Delta S = v \Delta t \quad (5)$$

$$S_{gesamt} = \sum_{i=1}^k S_{inc_i} \quad (6)$$

[0062] In Gleichung 6 entspricht ein Streckenelement dem Inkrement S_{inc_i} .

$$\frac{\sum_{i=1}^k S_{inc_i}}{S_{gesamt}} = \sum_{i=1}^k s_{inc_i} \quad (7)$$

[0063] Mit S_{inc_i} ist ein relatives Streckenelement (bezogen auf die Gesamtstrecke S_{gesamt}) bezeichnet. Bezogen auf die gesamte Strecke kann diese Summe auch als Summe der Streckenanteile angegeben werden. Die Bedingung, um die Samples einer Ursache und einer zeitverzögerten Antwortgröße zu synchronisieren, ist, dass die Messstrecke durchlaufen sein muss. Dies wird mathematisch ausgedrückt durch folgende Gleichung:

$$\sum s_{inc_i} = 1 \quad (8)$$

[0064] Der Zusammenhang aus Gleichung 8 wird hier als Transportbedingung bezeichnet. Unter stationären Bedingungen können die mittlere Transportdauer und der korrespondierende Massenstrom bestimmt werden. Die vorstehende Bedingung kann mit dem folgenden Zusammenhang in einer Zeitreihe ausgehend von einem Startsample bestimmt werden:

$$s_{inc_i} = \frac{1}{\tau_{inc_i}} \cdot \Delta t \quad (9)$$

[0065] Damit kann ohne Kenntnis des tatsächlichen Abstandes zwischen Entstehungsstelle und Messstelle, lediglich basierend auf den statischen Messungen der synthetischen Gaseindüsung, die Transportbedingung bestimmt werden. In Gleichung 9 kann der Kehrwert von τ_{inc} für jedes Sample als "momentane spezifische Transportgeschwindigkeit" aufgefasst werden.

$$\tau_{mittel} = \frac{\sum \tau_{inc}}{\sum Elemente_i} \quad (10)$$

[0066] Nach Erfüllung der Transportbedingung kann mit Gleichung 10 der Mittelwert der Transportdauer bestimmt werden. Anschließend wird mit Gleichung 11 direkt auf die Anzahl n der Dehn/Stauch-Samples geschlossen, um die jeweils für den gültigen Zeitschritt "vorausgeschaut" werden muss, um eine korrekte Synchronisierung zu erhalten. Mit f ist in der Gleichung 11 die Abtastfrequenz bezeichnet.

$$n = \tau_{mittel} \cdot f \quad (11)$$

[0067] In Fig. 3 ist - als Veranschaulichung der Transportbedingung - der dynamische Transport von verschiedenen Pfropfelementen gezeigt. Der mögliche Restfehler entspricht der Schrittweite eines Samples. In diesem Beispiel gelten wie beschrieben folgende Bedingungen:

[0068] 1. Die Gesamtstrecke S_{gesamt} muss zurückgelegt sein (von einem Kontrollelement ab Entstehung, Summe der Teilstrecken S_1, S_2, S_3):

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_{gesamt} \quad (12)$$

[0069] 2. Die mittlere Gesamtdauer entspricht dem Mittelwert der Teiltransportdauer:

$$1/3 * (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) = \tau_{mittel} \quad (13)$$

[0070] 3. Jedem Entstehungssample ist ein Massenstrom zugeordnet. Dieser korrespondiert mit einer Teiltransportdauer $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ und einer Teilstrecke S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 . Die Erkennung, wann ein Sample (z.B.: vom Zeitpunkt t_1) die Messstelle B1 passiert, erfolgt durch Summation der relativen Streckenanteile. Wenn die Summe aller Streckenanteile größer ist als 100 % (=1), kann die mittlere Transportdauer für jedes Messsample zugeordnet werden. Mit S_E ist ein Restfehler bezeichnet. Ein Abtastintervall bezogen auf die Teiltransportdauer entspricht einem relativen Streckenanteil.

[0071] Die Fig. 4 bis 6 zeigen verschiedene Totzeitkompensationen, wobei das laufzeitkorrigierte Signal S_L und das gemessene Signal S_M am Beispiel einer CO-Konzentration in ppm angegeben ist.

[0072] Mit t_T ist die Transportzeit und mit t_D die korrespondierende fiktive Totzeit in Sekunden s bezeichnet. S_R bezeichnet das Beispielssignal Abgasmassenstrom als Transportreferenz in kg/h. Die Bereiche für langsamen Transport sind mit LT und für schnellen Transport mit ST bezeichnet.

[0073] In Fig. 4 stellt S_L das laufzeitkorrigierte Signal der CO-Konzentration in der Entstehung bei einem fixen Offset von einer Sekunde dar.

[0074] In Fig. 5 ist mit S_L das laufzeitkorrigierte Signal der CO-Konzentration in der Entstehung bei einem dynamischen Offset ohne Korrektur der Dehn-Stauch-Ereignisse dargestellt.

[0075] Fig. 6 zeigt das laufzeitkorrigierte Signal S_L des CO-Konzentration von Dehn-Stauch-Ereignissen. Die Transportbedingungen sind dabei erfüllt.

[0076] Üblicherweise wird die Totzeit mit einem konstanten Offset kompensiert, wie in Fig. 4 dargestellt ist. Dabei werden prinzipbedingt unterschiedliche Totzeiten durch verschiedene Transport-Massenströme nicht berücksichtigt. Dies entspricht dem bisher bekannten Stand der Technik. Wird eine variable Kompensation verwendet, kann bereits eine Erhöhung der Ergebnisqualität erreicht werden. Da die Transportbedingung jedoch verletzt ist, werden systematische Fehler verursacht, die die Gültigkeit der Reihenfolge der Samples beeinträchtigen (siehe Fig. 5). Die in Fig. 6 gezeigte Totzeitkompensation mit dynamischen Anteil erfüllt die Transportbedingung. Bei Testrechnungen mit synthetischen Signalen (z.B.: Sinusanregungen) wird eine Fehlerreduktion bei der Rekonstruktion um mehr als 75 % erreicht.

[0077] Das beschriebene Verfahren stellt eine Möglichkeit dar, die Qualität der dynamischen

Informationen wesentlich zu verbessern. Durch Anwendung der inversen Filterung kann eine Verbesserung der Ansprechgeschwindigkeit (T90 - Zeit) der relevanten Entnahmestellen für modale Analyse zwischen 25-50 % erreicht werden. Die Totzeit kann insgesamt nahezu exakt kompensiert werden.

[0078] Das Verfahren ist damit für alle Messverfahren mit dynamischer Anregung attraktiv. Das betrifft transiente Einzelsituationen in der Entwicklung, dynamische Abgastestes, sowie langsame und schnelle Verfahren zur Gewinnung statischer Informationen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Totzeitkompensation der Abgaskonzentration zumindest einer Abgaskomponente bei einer Abgasmessung in einer Abgasanlage einer Brennkraftmaschine, mit folgenden Schritten:
 - Festlegen einer Bezugskenngroße;
 - Definieren zumindest einer Messstrecke zwischen einer Abgasentstehungsstelle (A1) und zumindest einer Messstelle (B1, B2, B3);
 - Ermitteln von Parametern der Messstrecke zur Bestimmung der Totzeit als Funktion der Bezugskenngroße;
 - Durchführen einer Messung der Bezugskenngroße und der Abgaskonzentration zumindest einer Abgaskomponente im dynamischen Betrieb;**gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - Durchführen einer inversen Filterung der Abgaskonzentration;
 - Definieren einer das Durchlaufen der gesamten Messstrecke durch jeweils ein Messsample beschreibenden Transportbedingung;
 - Kompensieren der Abgaskonzentration bezüglich ihrer Totzeit auf Grund der ermittelten Parameter der Messstrecke, wobei das Erfüllen der Transportbedingung geprüft wird.
2. Verfahren nach einem der Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parameter der Messstrecke abgeschätzt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parameter der Messstrecke durch folgende Schritte bestimmt werden:
 - Bereitstellen einer Eindüsenanlage für Messgas am Beginn der Messstrecke;
 - Durchführen zumindest einer Anregung durch Einstellen zumindest eines stationären Luftmassenstromes in der Messstrecke und Einleiten des Messgases im Bereich der Abgasentstehungsstelle der Messstrecke, wobei
 - i. zwischen Abgasentstehungsstelle und Messstelle periodisch Messgas eingeleitet und die Totzeit der Anregung an der Messstelle bestimmt wird;
 - ii. sprunghaft zumindest einmalig an der Abgasentstehungsstelle Messgas eingeleitet und die folgende Sprungantwort eines an der Messstelle ermittelt wird;
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Grund der Sprungantwort die Parameter zumindest eines Verzögerungsgliedes zweiter Ordnung (PT2) abgeschätzt werden, wobei die inverse Filterung der Abgaskonzentration mittels den inversen Verzögerungsgliedern zweiter Ordnung erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass Transportbedingung durch

$$\sum s_{inc_i} = 1$$

definiert wird, wobei s_{inc_i} ein relatives Streckenelement, bezogen auf die gesamte Messstrecke S, beschreibt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das die gemessene Bezugskenngroße zur Kompensation dynamischer Anteile gefiltert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Bezugskenngroße der Abgasmassenstrom gewählt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein dynamischer Emissionsverlaufes auf Grund der totzeitkompensierten Abgaskonzentration für zumindest eine Abgaskomponente bestimmt wird.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

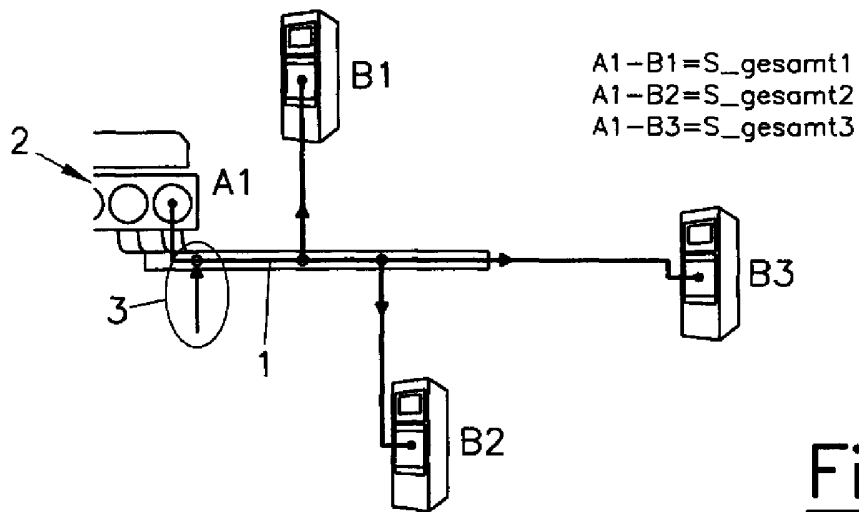


Fig.1

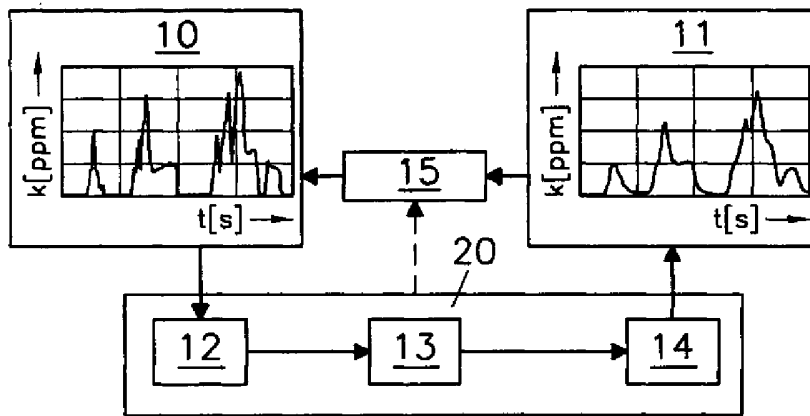


Fig.2

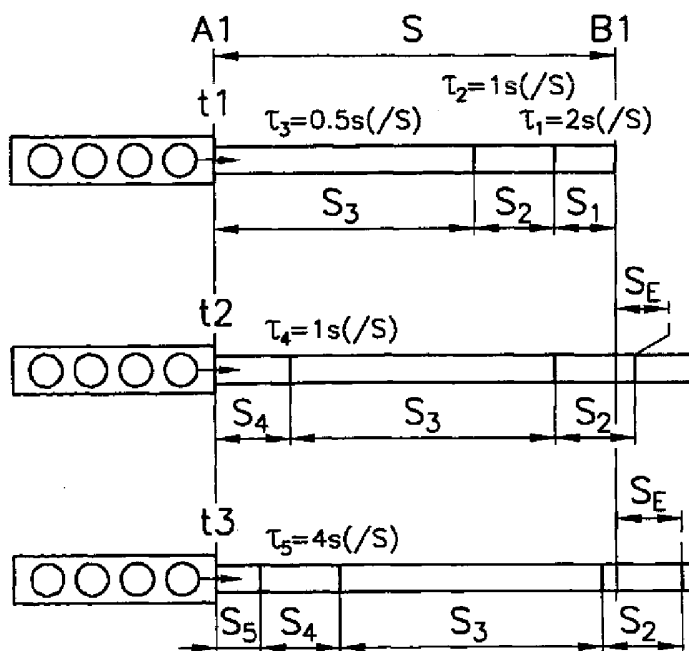


Fig.3

	t_T [s]	S_M [ppm]	S_R [kg/h]	t_D [s]	S_L [ppm]
LT	0.0	532.2	100	2	308.2
	0.1	491.8	100	2	304.0
	0.2	456.7	100	2	305.8
	0.3	426.4	100	2	314.9
	0.4	400.2	100	2	329.6
	0.5	377.5	100	2	346.5
ST	0.6	358.0	200	1	362.7
	0.7	341.3	200	1	375.8
	0.8	327.4	200	1	384.4
	0.9	316.3	200	1	387.7
	1.0	308.2	200	1	385.7
	1.1	304.0	200	1	379.4
	1.2	305.8	200	1	369.7
	1.3	314.9	200	1	357.8
LT	1.4	329.6	200	1	344.2
	1.5	346.5	100	2	329.7
	1.6	362.7	100	2	314.8
	1.7	375.8	100	2	299.9
	1.8	384.4	100	2	285.3
	1.9	387.7	100	2	271.2
	2.0	385.7	100	2	257.7
	2.1	379.4	100	2	244.9
	2.2	369.7	100	2	232.9
	2.3	357.8	100	2	221.7
	2.4	344.2	100	2	211.3
	2.5	329.7	100	2	201.6
	2.6	314.8	100	2	192.7
	2.7	299.9	100	2	192.7
	2.8	285.3	100	2	177.0
	2.9	271.2	100	2	170.0
	3.0	257.7	100	2	163.6
	3.1	244.9	100	2	157.8
	3.2	232.9	100	2	152.3
	3.3	221.7	100	2	147.0
	3.4	211.3	100	2	142.1
	3.5	201.6	100	2	138.1
	3.6	192.7	100	2	138.0
	3.7	192.7	100	2	150.6
	3.8	177.0	100	2	196.2
	3.9	170.0	100	2	308.9
	4.0	163.6	100	2	532.2
	4.1	157.8	100	2	904.5
	4.2	152.3	100	2	1425
	4.3	147.0	100	2	2034
	4.4	142.1	100	2	2652
	4.5	138.1	100	2	3224
	4.6	138.0	100	2	3724

Fig.4

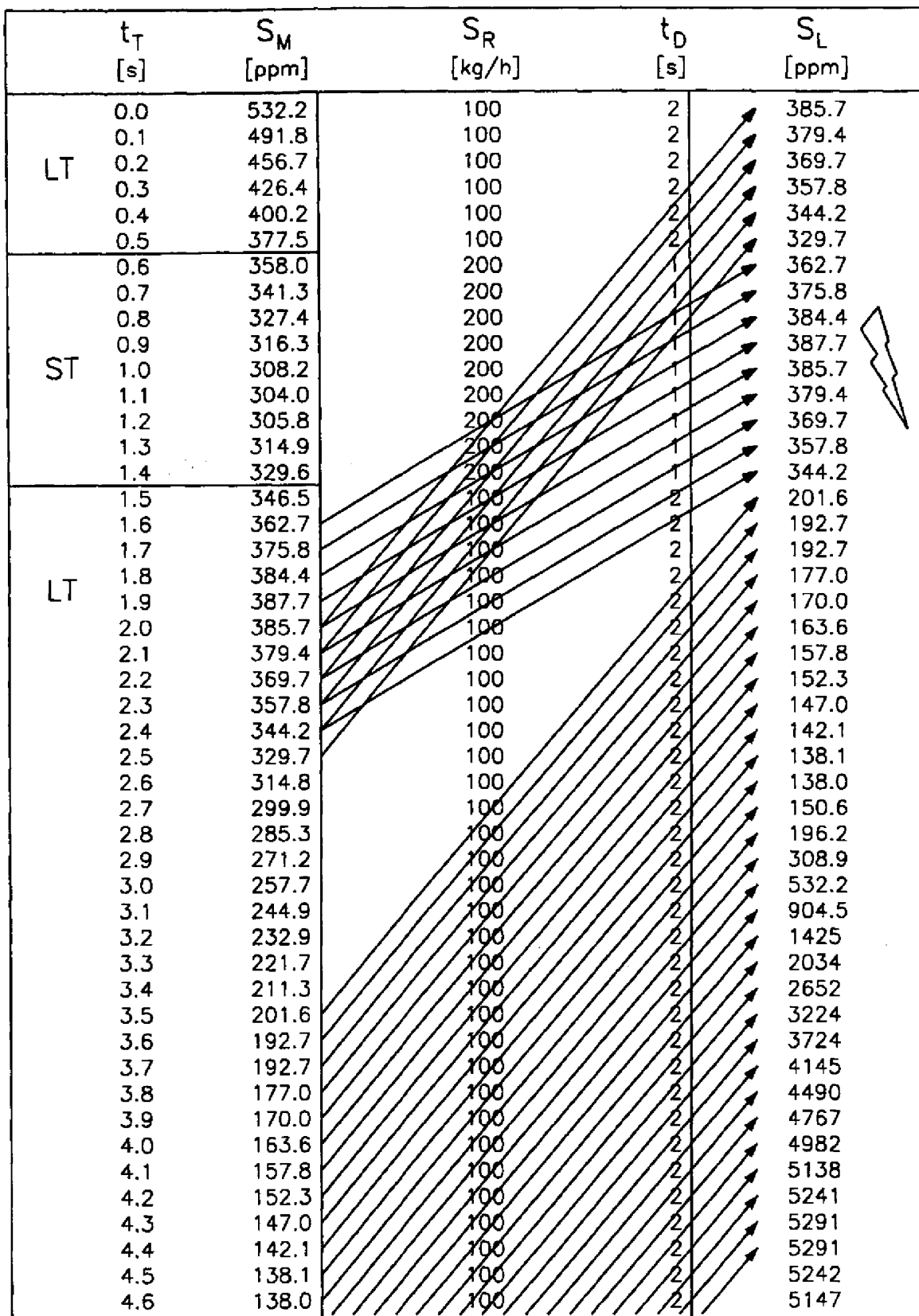


Fig.5

	t_T [s]	S_M [ppm]	S_R [kg/h]	t_D [s]	S_L [ppm]
LT	0.0	532.2	100	2	305.8
	0.1	491.8	100	2	329.6
	0.2	456.7	100	2	329.6
	0.3	426.4	100	2	329.6
	0.4	400.2	100	2	346.5
	0.5	377.5	100	2	362.7
ST	0.6	358.0	200	1	362.7
	0.7	341.3	200	1	375.8
	0.8	327.4	200	1	379.4
	0.9	316.3	200	1	357.8
	1.0	308.2	200	1	329.7
	1.1	304.0	200	1	299.9
	1.2	305.8	200	1	271.2
	1.3	314.9	200	1	244.9
LT	1.4	329.6	200	1	221.7
	1.5	346.5	100	2	201.6
	1.6	362.7	100	2	192.7
	1.7	375.8	100	2	192.7
	1.8	384.4	100	2	177.0
	1.9	387.7	100	2	170.0
	2.0	385.7	100	2	163.6
	2.1	379.4	100	2	157.8
	2.2	369.7	100	2	152.3
	2.3	357.8	100	2	147.0
	2.4	344.2	100	2	142.1
	2.5	329.7	100	2	138.1
	2.6	314.8	100	2	138.0
	2.7	299.9	100	2	150.6
	2.8	285.3	100	2	196.2
	2.9	271.2	100	2	308.9
	3.0	257.7	100	2	532.2
	3.1	244.9	100	2	904.5
	3.2	232.9	100	2	1425
	3.3	221.7	100	2	2034
	3.4	211.3	100	2	2652
	3.5	201.6	100	2	3224
	3.6	192.7	100	2	3724
	3.7	192.7	100	2	4145
	3.8	177.0	100	2	4490
	3.9	170.0	100	2	4767
	4.0	163.6	100	2	4982
	4.1	157.8	100	2	5138
	4.2	152.3	100	2	5241
	4.3	147.0	100	2	5291
	4.4	142.1	100	2	5291
	4.5	138.1	100	2	5242
	4.6	138.0	100	2	5147

Fig.6