

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50060/2012 (51) Int. Cl. : **G01M 15/05** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 06.03.2012 **G01M 15/10** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.07.2012 **G05B 13/04** (2006.01)
F02D 41/26 (2006.01)

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

(72) Erfinder:
 ALTENSTRASSER HARALD DIPL.ING. DR.
 GRAZ (AT)
 DRAGOTI ADNAND DIPL.ING.
 GRAZ (AT)
 KEUTH NIKOLAUS DIPL.ING. DR.
 GRAZ (AT)

(54) **Verfahren zur Emissionsoptimierung von Verbrennungskraftmaschinen**

(57) Ein Verfahren zur Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere zur Emissions- und/oder Verbrauchsoptimierung, bei welchen über Korrekturfunktionen in ihren Steuergeräten in jedem Betriebspunkt gegebenenfalls zumindest eine der Nebeneinflussgrößen derart eingestellt wird, dass in einem definierten Zyklus von Betriebspunkten die Emissionsgrenzwerte eingehalten sind, soll derart verbessert werden, dass von der Messung am Motorprüfstand über die Modellbildung bis hin zur Kalibrierung der Steuergeräteparameter so viele Schritte wie möglich automatisiert ablaufen können. Dazu ist vorgesehen, dass in einem ersten Schritt ein Versuchsplan für die Haupteinflussgrößen und Nebeneinflussgrößen unter Verwendung mathematischer Modelle der Steuergerätefunktionen und der Verbrennungskraftmaschine in Bezug auf die zu optimierende Größe erstellt und am Prüfstand abgefahren wird, wobei basierend auf diesen Modellen die optimalen Werte der Nebeneinflussgrößen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bestimmt und diese Werte zur Erstbedatung der Korrekturfunktionen im Steuergerät herangezogen werden.

Fig. 1

Drehmoment (Nm)	Motordrehzahl (rpm)			
	800 ~ 1150	850 ~ 1500	1550 ~ 2100	1800 ~ 2500
0 ~ 35	1	3	6	
20 ~ 110	2-4		7	10
100 ~ 150		5	8	11
150 ~ 200			9-12	

AV-3467 AT

Zusammenfassung:

Ein Verfahren zur Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere zur Emissions- und/oder Verbrauchsoptimierung, bei welchen über Korrekturfunktionen in ihren Steuergeräten in jedem Betriebspunkt gegebenenfalls zumindest eine der Nebeneinflussgrößen derart eingestellt wird, dass in einem definierten Zyklus von Betriebspunkten die Emissionsgrenzwerte eingehalten sind, soll derart verbessert werden, dass von der Messung am Motorprüfstand über die Modellbildung bis hin zur Kalibrierung der Steuergeräteparameter so viele Schritte wie möglich automatisiert ablaufen können.

Dazu ist vorgesehen, dass in einem ersten Schritt ein Versuchsplan für die Haupteinflussgrößen und Nebeneinflussgrößen unter Verwendung mathematischer Modelle der Steuergerätefunktionen und der Verbrennungskraftmaschine in Bezug auf die zu optimierende Größe erstellt und am Prüfstand abgefahren wird, wobei basierend auf diesen Modellen die optimalen Werte der Nebeneinflussgrößen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bestimmt und diese Werte zur Erstbedatung der Korrekturfunktionen im Steuergerät herangezogen werden.

(Fig. 1)

AV-3467 AT

Verfahren zur Emissionsoptimierung von Verbrennungskraftmaschinen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere zur Emissions- und/oder Verbrauchsoptimierung, bei welchen über Korrekturfunktionen in ihren Steuergeräten in jedem Betriebspunkt gegebenenfalls zumindest eine der Nebeneinflussgrößen derart eingestellt wird, dass in einem definierten Zyklus von Betriebspunkten die Emissionsgrenzwerte eingehalten sind.

Um Abgasvorgaben für Emissionen einhalten zu können, ist es notwendig, einen Verbrennungsmotor so abzustimmen, dass die Emissionsgrenzwerte sowohl im warmen als auch im Aufwärmbetrieb eingehalten werden. Aus diesem Grund gibt es in Motorsteuergeräten Korrekturfunktionen, die abhängig von der Kühlwassertemperatur, Last und Drehzahl die Grundparameter, wie zum Beispiel Einspritzbeginn, Saugrohrdruck, Einspritzdauer etc., verstellen. Die Parameter dieser Funktionen sind als Kennfelder bzw. Kennlinien ausgeführt. Der Kalibrier-Ingenieur hat die Aufgabe, diese Parameter an einen spezifischen Motor in einem Fahrzeug anzupassen, um die Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Diese bislang manuell durchgeführte Abstimmung ist sehr zeitaufwendig.

Es war daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den beschriebenen Vorgang weitgehend automatisch abzuwickeln, beginnend mit der Messung am Motorprüfstand, über die Modellbildung bis hin zur Kalibrierung der Steuergeräteparameter .

Zur Lösung dieser Aufgabe ist die Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt ein Versuchsplan für die Haupteinflussgrößen und Nebeneinflussgrößen unter Verwendung mathematischer Modelle der Steuergerätefunktionen und der Verbrennungskraftmaschine in Bezug auf die zu optimierende Größe erstellt und am Prüfstand abgefahren wird, wobei basierend auf diesen Modellen die optimalen Werte der Nebeneinflussgrößen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bestimmt und diese Werte zur Erstbedatung der Korrekturfunktionen im Steuergerät herangezogen werden.

Gemäß einer ersten Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass dynamische Modelle unter stationären Bedingungen ausgewertet und in der Optimierung verwendet werden.

Vorzugsweise sind die Betriebspunkte durch die Parameter Temperatur, Last und Drehzahl gegeben.

AV-3467 AT

Dabei ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass für den Parameter Temperatur zumindest drei unterschiedliche Temperaturniveaus vorgegeben werden.

Eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine in mehrere Bereiche zerlegt wird, wobei für jeden Teilbereich separate Versuchspläne erstellt und am Prüfstand abgefahren und plausibilisiert werden, und dass aus den gemessenen Daten für jeden Teilbereich teilglobale Modelle erstellt werden.

Dabei werden vorzugsweise die Versuchspläne in jedem Teilbereich durch zweistufigen globale Versuchsplanung erstellt.

Es kann auch vorgesehen sein, dass für jeden Teilbereich teilglobale Modelle erstellt werden.

Eine andere Variante des Verfahrens sieht vor, dass auf Basis eines dynamischen Versuchsplans dynamische Modelle der zu optimierenden Größe über den gesamten Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine erstellt werden. Typischerweise basieren Verfahren zur Onlineversuchsplanung auf einem initialen Versuchsplan, der offline berechnet wird und anschließend während der Vermessung an den zu vermessenden Prozess (d.h. hier den Verbrennungsmotor) angepasst wird, unter der Verwendung eines mathematischen Modells. Nach der Vermessung des Prüflings sind dann nicht nur Messdaten generiert worden, die zur Modellbildung herangezogen werden können, sondern steht auch ein fertiges Modell beispielsweise der Verbrennungskraftmaschine, basierend auf den Haupteinflussgrößen wie Last, Drehzahl und erfindungsgemäß auch Temperatur, sowie den Nebeneinflussgrößen (ECU Größen) zur Verfügung. Dieses Modell kann direkt zur Bedatung der Temperaturkorrekturfunktionen herangezogen werden. Das Verfahren zur Online- und Offline-Modellbildung kann beispielsweise auf Neuro-Fuzzy Ansätzen basieren. Die Bestimmung der Teilmodelle kann beispielsweise auf einem Decisiontree-Verfahren basieren, bei dem die Teilung des Eingangsraumes durch Hyperebenen bestimmt wird. Das Gesamtprozessmodell kann dabei auch in mehrere Teilmodelle aufgeteilt sein, wobei zwischen dynamischen und stationären Vorgängen getrennt wird und Ausgänge der einzelnen Stufen als Eingänge für die jeweils nächste Modellierungsstufe verwendet werden. Das Training der einzelnen Modellstufen wird vorzugsweise durch das Verfahren wie zuvor beschrieben (Online- und Offline-Modellbildung) durchgeführt.

AV-3467 AT

Bei allen der oben beschriebenen Varianten kann vorteilhafterweise die Korrekturfunktionen aus einem Basiskennfeld für eine Referenztemperatur der Verbrennungskraftmaschine und mindestens einem Korrekturkennfeld für die Verbrennungskraftmaschine bei einer weiteren Referenztemperatur bestehen, welches Korrekturkennfeld mittels eines Faktorkennfeldes in Abhängigkeit von der aktuellen Temperatur der Verbrennungskraftmaschine zum Ausgang des Basiskennfeldes addiert wird.

Dabei ist vorzugsweise vorgesehen, dass eine modellbasierte Funktionsoptimierung für die Kennfelder vorgenommen wird, wobei die Werte auf den Stützstellen der entsprechenden Kennfelder optimiert werden.

In der nachfolgenden Beschreibung soll die Erfindung am Beispiel der Emissionsoptimierung eines Verbrennungsmotors, einer Temperaturkorrekturfunktion und unter Bezugnahme auf die Zeichnungsfiguren beschrieben werden.

Dabei zeigt die Fig. 1 ein Beispiel für die Zuordnung einzelner Modelle zu den zugehörigen Bereichen des Testzyklus, Fig. 2 ist ein schematisches Blockdiagramm für die Ermittlung des Gesamt-Zyklusergebnis, und Fig. 3 zeigt ein Diagramm der Auswertung für ein simuliertes Zykusergebnis.

Beim Durchfahren beispielsweise des NEDC-Zyklus, wie er zur Zertifizierung von Fahrzeugen vorgeschrieben ist, werden neben unterschiedlichen Last-Drehzahl Bereichen auch unterschiedlich Temperaturbereiche, vom kalten Motor bis zum warmen Motor, durchfahren.

Um die Steuergerätefunktionen teilautomatisiert und damit zeiteffektiv kalibrieren zu können, ist es notwendig, mathematische Modelle von den Steuergerätefunktionen sowie vom Motor in Bezug auf Emissionen zu haben.

Die Versuchsplanung, Vermessung und Modellierung kann auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Bei einer ersten Methode handelt es sich um ein stationäres Verfahren. Um die Emissionsmodelle - bzw. Modelle für jede zu optimierende Größe, insbesondere des Kraftstoffverbrauchs - erstellen zu können, wird der Betriebsbereich des Motors in mehrere Bereiche zerlegt. In jedem Teilereich werden mit der Methodik der zweistufigen Modellbildung, wie beispielsweise in der EP 2088486 A beschrieben ist, Testpläne für Last, Drehzahl, Kühlwassertemperatur und aller weiteren Variationsparameter erstellt. Die Teilereiche unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Betriebsstrategien der Motorsteuerung in der Anzahl der Variationsparameter. Die so erstellten Versuchspläne werden automatisiert am Motorprüfstand abgefahren

AV-3467 AT

und plausibilisiert. Aus den gemessenen Daten werden pro Teilereich teilglobale Modelle nach erstellt, wie etwa in der AT 7710 U geoffenbart ist.

Eine andere Methode basiert auf einem dynamischen Modellierungsverfahren, bei dem auch das Zeitverhalten des Motors abgebildet werden kann. Auf Basis eines dynamischen Versuchsplans, basierend beispielsweise auf dem in „Analytic Model Based Design of Experiments“, M. Stadlbauer et al., Design of Experiments in Engine Development, 2010, Expert-Verlag beschriebenen Verfahren, erweitert um Variationen auch für die Wassertemperatur, werden dynamische Emissionsmodelle über den gesamten Betriebsbereich des Motors erstellt, wie beispielhaft in „Dynamic Modeling using local model networks“, C. Hametner et al., Design of Experiments in Engine Development, 2010, Expert-Verlag oder „Global Dynamic Modeling: A consistent approach for both diesel and gasoline engines“, K. Shimojo et al., Design of Experiments in Engine Development, 2010, Expert-Verlag beschrieben.

Basierend auf diesen Modellen wird mittels gradientenbasierter Optimierung oder genetischer Algorithmen bei mehreren Temperaturen und an mehreren Last/Drehzahl-Stützstellen die optimalen Werte für die Variationsparameter unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte aus der Abgasnorm bestimmt. Die dynamischen Modelle werden dabei unter stationären Bedingungen ausgewertet und in der Optimierung verwendet. Die Ergebnisse aus der Optimierung werden im nächsten Schritt zur Erstbedatung der Kennfelder und Kennlinien in der Steuergerätefunktion verwendet. Bei der Auswahl der Temperaturen, für welche die Optimierung durchgeführt wird, ist wichtig, dass zumindest drei Temperaturlevel gewählt werden. Als höchstes Level wird häufig 85°C für eine Basisbedatung und als niedrigstes Level häufig 40° für die Bedatung des Korrekturkennfelds bei kaltem Motorbetrieb gewählt.

Die Korrekturfunktionen bestehen zumeist aus einem Basiskennfeld, welches die Einstellungen für den warmen Motor enthält. Des Weiteren ist mindestens ein Korrekturkennfeld vorhanden, welches für den kalten Motor gilt. Mittels eines Faktorkennfelds wird dieses Korrekturkennfeld, abhängig von der aktuellen Motortemperatur, zum Ausgang des Basiskennfelds addiert.

Die erzeugten Optimierungsergebnisse enthalten optimale Einstellungen für alle Parameter und alle Temperaturen. Mittels einer Gruppierung können die Daten für die jeweiligen Temperaturen getrennt werden. Entscheidend ist dabei die Bestimmung einer „Basis-Temperatur“

AV-3467 AT

und einer „Korrektur-Temperatur“. Alle anderen Temperaturen werden als „Zwischen-Temperaturen“ bezeichnet.

Mittels der Daten der Basis-Temperatur kann das Basiskennfeld berechnet werden. Darauf folgend kann mittels des Ausgangs aus dem Basiskennfeld und der Daten aus der Korrektur-Temperatur das Korrekturkennfeld berechnet werden. Zuletzt wird mittels der Daten aller Zwischen-Temperaturen und den Ausgängen aus Basis- und Korrekturkennfeld das Faktorkennfeld berechnet. Dabei gilt: $\text{KorrekturKennfeld} = \text{OptimierungsDaten_KorrekturTemperatur} - \text{BasisKennfeld}$ und: $\text{ZwischenKennfeld} = (\text{OptimierungsDaten_AlleTemperaturen} - \text{BasisKennfeld}) / \text{KorrekturKennfeld}$.

Die so berechneten Kennfelder werden im Anschluss als „Startwerte“ für eine modellbasierte Funktionsoptimierung verwendet. Dabei werden nicht mehr die Variationsparameter direkt optimiert, sondern die Werte auf den Stützstellen der entsprechenden Kennfelder. Begonnen wird mit der Optimierung der Basiskennfelder bei betriebswarmen Motor. Basierend auf dem Ergebnis dieser Optimierung werden im nächsten Schritt die Korrekturkennfelder bei kaltem Motor optimiert. Zum Schluss, basierend auf den bereits berechneten Basis- und Korrekturkennfeldern, werden die Faktorkennfelder optimiert. Während bei der Berechnung der Basis- und Korrekturkennfelder meist ein beliebiges (gewichtetes) Punkteraster (Last, Drehzahl) bei festgelegter Temperatur (z.B. 85° warmer Motor, 40° kalter Motor) verwendet wird, wird bei der Optimierung der Faktorkennfelder eine bereits „kontinuierliche“ Zyklusmessung verwendet (Last, Drehzahl und Temperatur). Dadurch wird der gesamte Temperaturbereich abgedeckt und zusätzlich auch eine automatische Gewichtung, hinsichtlich im Zyklus mehrmals gefahrener Betriebsbereiche, durchgeführt.

Im Folgenden wird meist eine modellbasierte Zyklushochrechnung bzw. –simulation durchgeführt. Dazu werden wieder die globalen Modelle herangezogen, welche bereits zuvor bei der Optimierung verwendet wurden. Der Applikateur muss die einzelnen Modelle den zugehörigen Bereichen des Testzyklus zuweisen. Ein Beispiel für eine derartige Zuweisung ist in Fig. 1 dargestellt.

Als Eingang für die Simulation dient eine Zyklusmessung, welche, wie bei der Funktionsoptimierung, die Daten für Drehzahl, Last und Temperatur enthält. Diese Daten dienen als Eingänge für die Funktionen, welche die temperaturabhängigen Eingangswerte für die Modellparameter berechnen. Zuletzt werden die globalen Modelle ausgewertet und zu einem Gesamt-

Zyklusergebnis zusammen geführt, wie in Fig. 2 dargestellt ist. Der Applikateur hat hier die Möglichkeit, die berechneten Kennfelder aller Funktionen manuell einzustellen bzw. zu korrigieren und die Auswirkungen unmittelbar im simulierten Zyklusergebnis zu kontrollieren. In Fig. 3 ist ein Diagramm für einen derartigen Vergleich dargestellt.

Zuletzt werden alle berechneten Kennfelder zurück in die Motorsteuerung geschrieben und am Prüfstand mittels einer Zyklusmessung verifiziert.

AV-3467 AT

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Optimierung von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere zur Emissions- und/oder Verbrauchsoptimierung, bei welchen über Korrekturfunktionen in ihren Steuergeräten in jedem Betriebspunkt gegebenenfalls zumindest eine der Nebeneinflussgrößen derart eingestellt wird, dass in einem definierten Zyklus von Betriebspunkten die Emissionsgrenzwerte eingehalten sind, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt ein Versuchsplan für die Haupteinflussgrößen und Nebeneinflussgrößen unter Verwendung mathematischer Modelle der Steuergerätekfunktionen und der Verbrennungskraftmaschine in Bezug auf die zu optimierende Größe erstellt und am Prüfstand abgefahren wird, wobei basierend auf diesen Modellen die optimalen Werte der Nebeneinflussgrößen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bestimmt und diese Werte zur Erstbedatung der Korrekturfunktionen im Steuergerät herangezogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dynamische Modelle unter stationären Bedingungen ausgewertet und in der Optimierung verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebspunkte durch die Parameter Temperatur, Last und Drehzahl gegeben sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass für den Parameter Temperatur zumindest drei unterschiedliche Temperaturniveaus vorgegeben werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine in mehrere Bereiche zerlegt wird, wobei für jeden Teilbereich separate Versuchspläne erstellt und am Prüfstand abgefahren und plausibilisiert werden, und dass aus den gemessenen Daten für jeden Teilbereich teilglobale Modelle erstellt werden.

AV-3467 AT

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Versuchspläne in jedem Teilbereich durch zweistufigen globale Versuchsplanung erstellt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Teilbereich teilglobale Modelle erstellt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf Basis eines dynamischen Versuchsplans dynamische Modelle für die zu optimierenden Größe über den gesamten Betriebsbereich der Verbrennungskraftmaschine erstellt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturfunktionen aus einem Basiskennfeld für eine Referenztemperatur der Verbrennungskraftmaschine und mindestens einem Korrekturkennfeld für die Verbrennungskraftmaschine bei einer weiteren Referenztemperatur besteht, welches Korrekturkennfeld mittels eines Faktorkennfeldes in Abhängigkeit von der aktuellen Temperatur der Verbrennungskraftmaschine zum Ausgang des Basiskennfelds addiert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine modellbasierte Funktionsoptimierung für die Kennfelder vorgenommen wird, wobei die Werte auf den Stützstellen der entsprechenden Kennfelder optimiert werden.

Fig. 1

Drehmoment (Nm)	Motordrehzahl (rpm)			
	800 ~ 1150	850 ~ 1550	1350 ~ 2150	1850 ~ 2500
0 ~ 35	1	3	6	
30 ~ 110	2-4		7	10
100 ~ 150		5	8	11
150 ~ 200			9-12	

Fig. 2

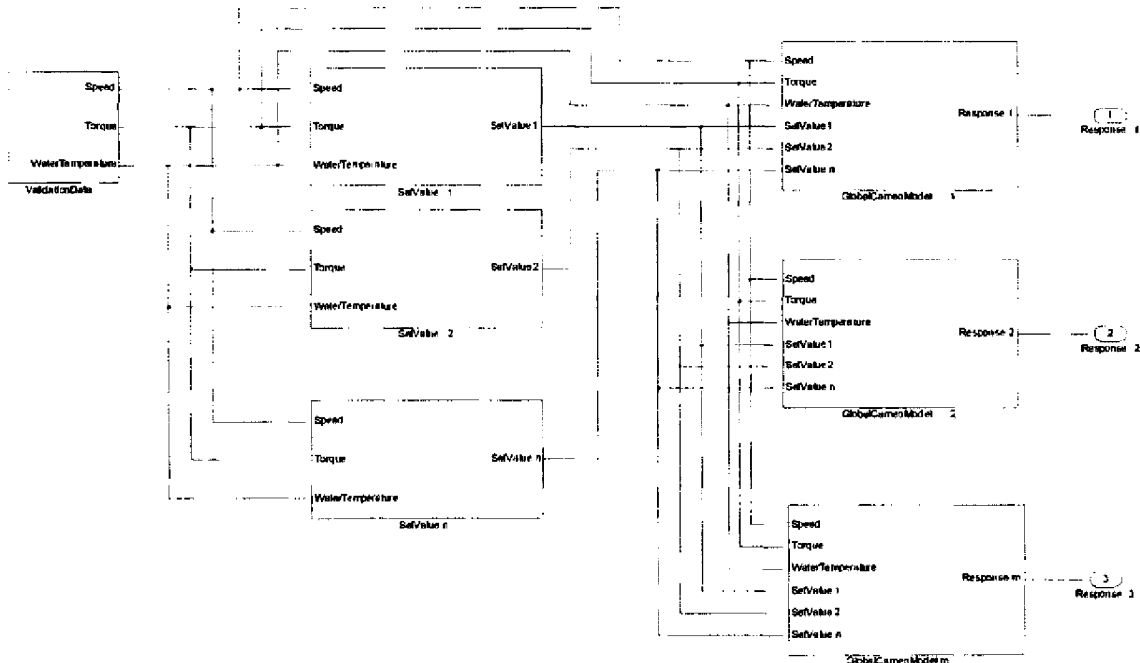


Fig. 3

