

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer:	A 50163/2022	(51) Int. Cl.:	F02M 26/49	(2016.01)
(22) Anmeldetag:	15.03.2022		F02D 41/14	(2006.01)
(45) Veröffentlicht am:	15.05.2023		F02D 41/00	(2006.01)
			F02D 35/02	(2006.01)
			F02B 77/08	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102016123636 A1
US 3872846 A

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

(72) Erfinder:
KAPUS Paul Dr.
8111 Judendorf (AT)

(74) Vertreter:
BABELUK Michael Dipl.-Ing. Mag.
1080 WIEN (AT)

(54) VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), bei der Abgas zumindest in einem Betriebsbereich über zumindest ein EGR-Ventil (18) und zumindest eine Abgasrückföhrleitung (6) von einem Auslasssystem (4) in ein Einlasssystem (3) rückgeföhrt wird, wobei Basiswerte für die EGR-Menge (m_{EGR}) an rückgeföhrtm Abgas und/oder eine Öffnung des EGR-Ventils (18) in einem Motorkennfeld der Brennkraftmaschine (1) vorgegeben werden und eine Korrekturmaßnahme für die EGR-Menge (m_{EGR}) durchgeführt wird, indem die Drehzahl (n) der Brennkraftmaschine (1) gemessen und eine Drehzahldifferenz (Δn) und/oder ein Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) innerhalb eines definierten Beobachtungszeitraumes (Δt) ermittelt wird und die EGR-Menge (m_{EGR}) an rückgeföhrtm Abgas reduziert wird, wenn die Drehzahldifferenz (Δn) und/oder der Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) einen definierten Schwellwert (Δn_G , δ_G) überschreitet.

Um die EGR-Regelung zu verbessern und die NOx-Emissionen zu minimieren ist vorgesehen, dass die Verbrennung der Brennkraftmaschine (1) in Bezug auf Klopfen überwacht wird und die EGR-Menge (m_{EGR}) erhöht wird, wenn zumindest ein Klopfereignis (K) – vorzugsweise über zumindest einen Klopfensensor (21) – festgestellt und ein definierter Wert (K_G) für das zumindest eine festgestellte Klopfereignisse (K) und/oder eine definierte Klopfregeltiefe (KR) überschritten wird.

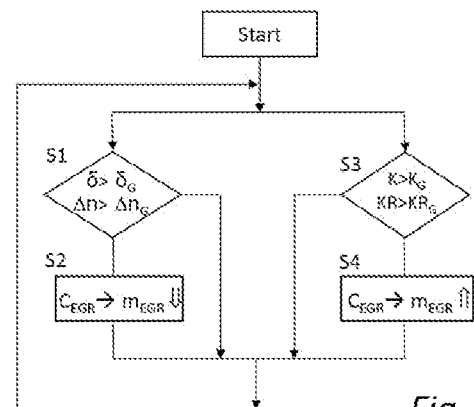


Fig. 5

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei der Abgas zumindest in einem Betriebsbereich über zumindest ein EGR-Ventil und zumindest eine Abgasrückführleitung von einem Auslasssystem in ein Einlasssystem rückgeführt wird, wobei Basiswerte für eine EGR-Menge an rückgeführtem Abgas und/oder eine Öffnung eines EGR Ventils in einem Motorkennfeld der Brennkraftmaschine vorgegeben werden und eine Korrekturmaßnahme für die EGR-Menge durchgeführt wird, indem die Drehzahl der Brennkraftmaschine gemessen und eine Drehzahldifferenz und/oder ein Drehungleichförmigkeitsgrad innerhalb eines definierten Beobachtungszeitraumes ermittelt wird und die EGR-Menge an rückgeführtem Abgas reduziert wird, wenn die Drehzahldifferenz und/oder der Drehungleichförmigkeitsgrad einen definierten Schwellwert überschreitet, wobei die Verbrennung der Brennkraftmaschine in Bezug auf Klopfen überwacht wird. Die Erfindung betrifft außerdem eine Brennkraftmaschine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

[0002] Bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen im Motor umweltschädliche Stickoxide. Es ist bekannt, dass durch Rückführung eines Teils des Abgases vom Auslasssystem in das Einlasssystem die Bildung von Stickoxiden aus Verbrennungsprodukten reduziert werden kann. Bei Brennkraftmaschinen mit EGR (EGR="Exhaust Gas Recirculation") bzw. AGR (AGR="Abgasrückführung") wird daher zur Senkung der Stickoxidmenge im Abgas ein Teil des Abgases, beispielsweise 20%, in das Einlasssystem rückgeführt.

[0003] Bei externer Abgasrückführung kann es aufgrund von Umwelteinflüssen wie Luftdruck, geodätische Höhe, Luftfeuchtigkeit oder anderen Einflüssen wie Änderung des Abgasgedruckes, zum Beispiel durch Partikelfilterbeladung, zu einer Änderung der tatsächlich durchgeführten EGR-Menge kommen. Eine Änderung der EGR-Menge kann aber zu einer Verschlechterung des Fahrverhaltens wie Ruckeln und Zündaussetzer bei zu hoher EGR-Menge oder zu Klopfen bei zu niedriger EGR-Menge - insbesondere bei hochverdichteten Brennkraftmaschinen - führen.

[0004] Deshalb kommt in derzeitigen Brennkraftmaschinen eine EGR-Regelung zum Einsatz. Diese verwendet üblicherweise die Messwerte eines Differenzdruck-Sensors über das EGR-Ventil, die Durchflusskennlinie des EGR-Ventils in Abhängigkeit des Druckunterschiedes und die EGR-Temperatur zur Regelung. Diese EGR-Regelung kann die EGR Rate in einem Bereich von rund +/- 3% konstant halten, aber sie kann bei schlechter Laufruhe die EGR-Menge nicht absenken oder bei Klopfen die EGR-Menge nicht anheben.

[0005] In Serienmotoren wird der Zündzeitpunkt geregelt. Beim Auftreten von Klopfereignissen wird eine Zündwinkelrücknahme durchgeführt, der Zündwinkel also nach spät verstellt. Wenn das Klopfen wieder aufhört, dann wird der Zündwinkel wieder auf den originalen Kennfeldwert geregelt. Zur Regelung wird ein Sensor verwendet, der Schwingungen am Motor misst, die durch Klopfen hervorgerufen werden.

[0006] Die Klopfregelung kann Klopfen und darauffolgende Schäden verhindern, kann aber die Brennkraftmaschine - insbesondere bei externer Abgasrückführung - nicht in einen für den Verbrauch bestmöglichen Betriebspunkt regeln.

[0007] In Serienmotoren wird die Laufruhe der Brennkraftmaschine zur Diagnose ausgewertet. Dazu wird der Drehungleichförmigkeitsgrad der Kurbelwelle - beispielsweise aus den Signalen eines etwa durch ein 60-2 Geberrad gebildeten Drehzahlsensors - berechnet. Ab einem gewissen Drehungleichförmigkeitsgrad wird davon ausgegangen, dass dies auf Zündaussetzer bei der Verbrennung zurückzuführen ist. Diese Zündaussetzer werden gezählt. Ab einer gewissen Anzahl an Zündaussetzern muss mit einer Schädigung des Katalysators gerechnet werden, der Fahrer wird dann zum Aufsuchen einer Werkstatt aufgefordert.

[0008] Es ist bekannt, dass die Laufunruhe, also der Drehungleichförmigkeitsgrad, mit zunehmender EGR-Menge ansteigt. Daher ist die Laufunruhe bzw. der Drehungleichförmigkeitsgrad ein begrenzender Faktor für die EGR-Menge.

[0009] Die US 3,872,846 A beschreibt ein Regelsystem für eine Brennkraftmaschine mit Abgas-

rückführung, wobei die Drehungleichförmigkeit der Brennkraftmaschine in einem definierten Bereich geregelt wird. Dabei empfängt das Regelsystem ein Drehungleichförmigkeitssignal und erzeugt daraus ein Steuersignal zur Veränderung der Stellung des Abgasrückführventiles. Dadurch soll die maximal mögliche Menge an rückgeführtem Abgas bei einem definierten zulässigen maximalen Ungleichförmigkeitsgrad eingestellt werden. Bei großer Laufunruhe wird die EGR-Menge reduziert und bei guter Laufunruhe die EGR-Menge angehoben.

[0010] Diese Regelung, die nur auf der Drehungleichförmigkeit als Reglereingangsgröße beruht, kann aber nicht verhindern, dass in bestimmten Betriebsbereichen - insbesondere bei hohen Lasten, bei denen es zu klopfender Verbrennung kommt - zu wenig EGR der Brennkraftmaschine zugeführt wird. Diese Art der Regelung ohne Berücksichtigung des Klopfens funktioniert daher nur in Bereichen, in denen kein Klopfen auftritt - also an der Teillast eines Motors.

[0011] Die DE 10 2016 123 636 A1 offenbart ein Verfahren und System zum Regulieren von Motorbetriebsparametern wie zum Beispiel Abgasrückführung, basierend auf Straßenrauhigkeitsbedingungen. Dabei wird basierend auf einer erhöhten Straßenrauhigkeitsschätzung die EGR-Durchflussrate angehoben. Dadurch soll mit erhöhtem EGR in Zusammenhang stehende NVH die mit rauen Straßenbedingungen im Zusammenhang stehende NVH verschleiert werden. Als zusätzliche Maßnahme ist ein Wechseln eines Klopfeschwellenwertes eines Motorklopfsensors von einem mit einer geringeren Zündzeitpunktverstellung nach früh in Zusammenhang stehenden ersten Klopfeschwellenwert zu einem mit einer stärkeren Zündzeitpunktverstellung nach früh in Zusammenhang stehenden zweiten Klopfeschwellenwert vorgesehen, wenn der Motor mit der erhöhten EGR-Durchflussrate betrieben wird.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, die EGR-Regelung zu verbessern und dabei auftretende Betriebsparameter bestmöglich in die Regelung einzubeziehen. Dadurch ist eine Regelung nicht nur an der Teillast, sondern auch bei hohen Lasten inklusive Vollast möglich.

[0013] Die Lösung der Aufgabe erfolgt durch ein eingangs genanntes Verfahren erfindungsgemäß dadurch, dass die Abgasmenge erhöht wird, wenn zumindest ein Klopfereignis - vorzugsweise über zumindest einen Klopfensensor - festgestellt und ein definierter Wert für das zumindest eine festgestellte Klopfereignis und/oder eine definierte Klopfregeltiefe überschritten wird.

[0014] Es wird also die Verbrennung in Bezug auf Klopfen sowie in Bezug auf Laufunruhe überwacht und die Abgasmenge erhöht, wenn bei zufriedenstellender Laufunruhe zumindest ein Klopfereignis festgestellt und ein definierter Wert für das zumindest eine festgestellte Klopfereignis und/oder eine definierte Klopfregeltiefe überschritten wird. Bei zu hoher Laufunruhe und gleichzeitig nicht-klopfender Verbrennung wird die rückgeführte Abgasmenge reduziert.

[0015] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht nur die Drehungleichförmigkeit, sondern auch das Klopfen der Brennkraftmaschine in die Regelung einbezogen und die EGR-Regelung somit verbessert. Dadurch ist eine Regelung nicht nur an der Teillast, sondern auch bei hohen Lasten inklusive Vollast möglich.

[0016] Über einen definierten Zeitraum wird die Drehzahländerung der Motordrehzahl beobachtet. Falls die Motordrehzahländerung einen definierten Wert übersteigt, wird die EGR-Menge abgesenkt. Die Steuerung kann über einen EGR-Regler, zum Beispiel einen PI-Regler oder einen I-Regler erfolgen.

[0017] Andererseits kann eine zu niedrige EGR-Menge zu Klopfen führen. Wenn der Klopfensensor Klopfen signalisiert, kann die EGR-Menge angehoben werden. Dies kann beispielsweise durch weiteres Öffnen des EGR-Ventils geschehen. Wenn das EGR-Ventil weit offen oder ganz geöffnet ist, kann die EGR-Menge durch Schließen der Vordrosselklappe weiter erhöht werden, welche im Einlasssystem stromaufwärts einer Mündung der Abgasrückführleitung angeordnet ist. Durch das Schließen der Vordrosselklappe wird die Druckdifferenz zur EGR-Leitung und somit der Durchsatz an EGR erhöht.

[0018] Vorteilhafterweise wird zur Erhöhung der EGR-Menge ein in der Abgasrückführung angeordnetes EGR-Ventil geöffnet.

[0019] Alternativ oder zusätzlich wird zur Erhöhung der EGR-Menge eine Vordrosselklappe geschlossen, welche im Einlasssystem stromaufwärts einer Mündung der Abgasrückführleitung in das Einlasssystem angeordnet ist.

[0020] In einer Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass die Stellung des EGR-Ventils und/oder die Stellung der Vordrosselklappe in Abhängigkeit zumindest eines Betriebsparameters korrigiert wird, wobei vorzugsweise der Betriebsparameter aus folgender Gruppe ausgewählt wird: Betriebsmodus eines elektrischen Abgasturboladers; Druckverhältnis über das EGR-Ventil; Beladung eines im Auslasssystem angeordneten Partikelfilters.

[0021] Die Öffnungsstellung des EGR-Ventils wird weiter erhöht, wenn der elektrische Abgasturbolader motorisch betrieben wird. Die Öffnungsstellung des EGR-Ventils wird verringert, wenn der elektrische Abgasturbolader generatorisch betrieben wird.

[0022] Die Öffnungsstellung des EGR-Ventils wird verringert, wenn das Druckverhältnis des Druckes in der Abgasleitung stromaufwärts des EGR-Ventils zum Druck in der Abgasleitung stromabwärts des EGR-Ventils erhöht ist. Die Öffnungsstellung des EGR-Ventils wird erhöht, wenn das Druckverhältnis des Druckes in der Abgasleitung stromaufwärts des EGR-Ventils zum Druck in der Abgasleitung stromabwärts des EGR-Ventils verringert ist. Bei zu geringer Druckdifferenz kann diese durch Schließen der Vordrosselklappe stromaufwärts der Einmündung der Abgasrückführleitung in das Einlasssystem erhöht werden.

[0023] Eine höhere Beladung eines im Auslasssystem angeordneten Partikelfilters für Benzinmotoren (GPF= Gasoline Particle Filter) führt zu höherem Gegendruck im Auslasssystem. Dadurch kann die Öffnungsstellung des EGR-Ventils verringert werden.

[0024] Nach einer Spätverstellung des Zündzeitpunktes aufgrund erkannten Klopfens wird, wenn kein weiteres Klopfereignis auftritt, der Zündzeitpunkt wieder nach früh verstellt. Während dieser Frühverstellung wird allerdings immer noch ein späterer Zündwinkel als im Grundkennfeld abgelegt ausgegeben. Dieser immer noch spätere Zündwinkel kann bei der Absenkung der EGR Rate unberücksichtigt bleiben. Beim Rückregeln der Klopfregelung ist also kein weiteres Öffnen des EGR-Ventils erforderlich.

[0025] In weiterer Ausführung der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine - vorzugsweise mehrmals - durchgeführte Korrekturmaßnahme der EGR-Menge im Motorkennfeld eingetragen wird. Die Regelung der Abgasrückführung erfolgt somit selbstlernend. Dies bedeutet, dass wiederholt erforderliche Korrekturmaßnahmen, welche bei wiederholbarer Konfiguration von Motorparametern immer wieder durchgeführt werden müssen, selbständig durch die elektronische Steuereinheit in das Motorkennfeld eingetragen werden.

[0026] Um zu vermeiden, dass Eingriffe in die EGR-Regelung durch Fehlsignale durchgeführt werden, ist es vorteilhaft, wenn die EGR-Regelung selektiv aktiviert und deaktiviert wird. Dazu ist in einer Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, dass Korrekturmaßnahme der EGR-Menge nur dann durchgeführt werden, wenn

- der ermittelte Drehungleichförmigkeitsgrad mindestens einem definierten minimalen Drehungleichförmigkeitsgrad entspricht, und/oder
- eine bestimmte Klopfregeltiefe überschritten wird, und/oder
- ein aktueller Fahrpedalgradient maximal einem definierten maximalen Fahrpedalgradient entspricht und/oder
- eine aktuelle Motorlast mindestens einer definierten minimalen Motorlast entspricht und/oder
- der Gradient der Motorlast einen vordefinierten Wert nicht überschreitet und/oder
- eine aktuelle Motordrehzahl mindestens einer definierten minimalen Motordrehzahl entspricht und/oder
- eine im Antriebsstrang der Brennkraftmaschine angeordnete Schaltkupplung vollständig getrennt oder vollständig geschlossen ist.

[0027] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Abgasrückführungsmengen sehr nahe am Optimum einregeln, ohne dass es zu unruhigem Motorlauf oder klopfender Verbrennung kommt.

[0028] Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich eine eingangs genannte Brennkraftmaschine bei der Abgas zumindest in einem Betriebsbereich über zumindest eine Abgasrückführung von einem Auslasssystem in ein Einlasssystem rückführbar ist, mit einem Drehzahlsensor zur Feststellung ein Drehungleichförmigkeitsgrad der Brennkraftmaschine, wobei die EGR-Menge an rückgeführtem Abgas reduzierbar ist, wenn der Drehungleichförmigkeitsgrad einen definierten Schwellwert für den Drehungleichförmigkeitsgrad überschreitet.

[0029] Zur Lösung der Aufgabe ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine zumindest einen Klopfsensor zum Feststellen von Klopfereignissen bei der Verbrennung aufweist, und dass die EGR-Menge in Abhängigkeit des Auftretens zumindest eines Klopfereignisses und/oder einer definierten Klopfregeltiefe erhöhbar ist.

[0030] Die Erfindung wird anhand eines nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels, das in den Figuren dargestellt ist, näher erläutert.

[0031] Darin zeigen schematisch:

[0032] Fig. 1 eine Brennkraftmaschine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0033] Fig. 2 ein Regelkennfeld für die EGR-Regelung,

[0034] Fig. 3 und 4 ein Betriebsdiagramm der Brennkraftmaschine während des erfindungsgemäßen Verfahrens und

[0035] Fig. 5 das erfindungsgemäße Verfahren in einem Blockdiagramm.

[0036] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine 1 mit mehreren Zylindern 2, mit einem Einlasssystem 3 und einem Auslasssystem 4, sowie einem Niederdruck-Abgasrückführsystem 5 mit einer Abgasrückführung 6 zwischen dem Einlasssystem 3 und dem Auslasssystem 4. Die Brennkraftmaschine 1 weist einen Abgasturbolader 7 mit einem in der Einlassleitung 8 des Einlasssystem 3 angeordneten Verdichter 9 und einer in der Auslassleitung 10 des Auslasssystem 4 angeordneten Abgasturbine 11 auf. In der Einlassleitung 8 sind stromaufwärts des Verdichters 9 ein Luftmassenmesser 12 und eine Vordrosselklappe 13, und stromabwärts des Verdichters 9 ein Ladeluftkühler 14 und eine Drosselklappe 130 angeordnet. In der Auslassleitung 10 sind stromabwärts der Abgasturbine 11 ein Katalysator 15 und ein Partikelfilter 16 angeordnet. Die Abgasrückführung 6 des Abgasrückführsystems 5 zweigt stromabwärts der Abgasturbine 11 und stromaufwärts des Partikelfilters 16 von der Auslassleitung 10 ab, entweder stromaufwärts des Katalysators 15 (siehe punktierte Linien), oder stromabwärts des Katalysators 15 (siehe voll ausgezogene Linien). In der Abgasrückführung 6 sind ein EGR-Kühler 17, ein EGR-Ventil 18 und eine Kondensatfalle 19 angeordnet.

[0037] Serienmäßig sind bei der Brennkraftmaschine 1 ein Drehzahlsensor 20 zur Messung der Motordrehzahl n und zumindest ein Klopfsensor 21 vorgesehen, welcher Schwingungen am Motor misst, die durch Klopfereignisse K hervorgerufen werden. Die über den Drehzahlsensor 20 und den Klopfsensor 21 gemessenen Werte werden zur Auswertung und Regelung der Abgasrückführung einer elektronischen Steuereinheit 22 zugeführt. In der elektronischen Steuereinheit 22 ist zumindest ein Kennfeld für Basiswerte für die EGR-Menge m_{EGR} oder eine EGR Ventilstellung abgelegt. In einem Regelkennfeld, das beispielsweise als Ausgabewert einen I-Regler ansteuert, wird eine Achse durch die Laufruhe beschrieben und die 2. Achse durch die Klopfregeltiefe, beispielsweise gemittelt über alle Zylinder.

[0038] Fig. 2 zeigt ein Regelkennfeld für die Regelkorrektur C_{EGR} des rückgeführten Abgases am Beispiel eines I-Reglers, wobei für die Regelung als erste Regelachse der durch die Motordrehzahlschwankungen Δn innerhalb eines Beobachtungszeitraumes Δt von beispielsweise 50 ms definierte Drehungleichförmigkeitsgrad δ , - welche ein Maß für die Laufruhe darstellt - und als zweite Regelachse die mittlere Klopfregeltiefe KR aufgetragen sind. Die Linien zeigen I-Regler Parameter. Negative Werte der Regelkorrektur C_{EGR} schließen das EGR-Ventil 18, positive Werte der Regelkorrektur C_{EGR} öffnen das EGR-Ventil 18: je größer der Wert, desto schneller läuft der I-Regler.

[0039] Der Drehungleichförmigkeitsgrad δ innerhalb eines Beobachtungszeitraumes Δt kann wie folgt berechnet werden:

$$\delta = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{mean}},$$

mit

n_{max} Maximaldrehzahl innerhalb des Beobachtungszeitraumes Δt

n_{min} Maximaldrehzahl innerhalb des Beobachtungszeitraumes Δt ,

n_{mean} mittlere Drehzahl innerhalb des Beobachtungszeitraumes Δt .

[0040] Die Klopfregeltiefe KR bezeichnet den Wert, um den der Zündzeitpunkt nach spät verstellt werden muss, um einen Betrieb der Brennkraftmaschine 1 ohne klopfende Verbrennung zu ermöglichen. Die Klopfregeltiefe kann für jeden Zylinder separat ausgewertet oder für alle Zylinder gemittelt werden.

[0041] Fig. 3 und 4 zeigen ein Betriebsdiagramm der Brennkraftmaschine 1 während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei sind die Parameter Drehzahl n , Öffnungsstellung V_{EGR} des AGR-Ventils 18, Motorlast L , Einlassdruck p_{in} (siehe auch Fig. 1), Klopfregeltiefe KR und Regelkorrektur C_{EGR} über der Zeit t aufgetragen.

[0042] Fig. 3 dient zur Veranschaulichung der Maßnahmen zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 nach Auftreten eines Klopfereignisses. Das Auftreten eines Klopfereignisses führt ab dem Zeitpunkt t_1 zu einer mittleren Klopfrücknahme bei der Klopfregeltiefe KR von beispielsweise $2,5^\circ KW$, wie mit Bezugszeichen a angedeutet ist. Die Phase des Rückregelns ist mit Pfeil b bezeichnet. Das Klopfereignis führt dazu, dass der EGR-Regler der Steuereinheit 22 eine positive Regelkorrektur C_{EGR} ausgibt (siehe Pfeil c), welche eine weitere Öffnung des EGR-Ventil 18 verursacht (siehe Pfeil d).

[0043] Fig. 4 dient zur Veranschaulichung der Maßnahmen während des Betrachtungszeitraumes t_2 bis t_3 . Das Auftreten einer Drehzahländerung Δn von etwa 20 1/min innerhalb des Betrachtungszeitraumes $\Delta t = t_3 - t_2$ von etwa 50ms (siehe Pfeil e) führt dazu, dass der EGR-Regler der Steuereinheit 22 eine negative Regelkorrektur C_{EGR} ausgibt (siehe Pfeil f), welche eine geringere Öffnung des EGR-Ventil 18 verursacht (siehe Pfeil g).

[0044] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass direkt die Laufruhe und das Klopfensensorial als Regelinput für die EGR-Regelung verwendet werden. Es wird also - neben der durch die Laufruhe bzw. dem Drehungleichförmigkeitsgrad δ definierten ersten Achse eine zweite Achse für die EGR-Regelung definiert, die verhindert, dass der Brennkraftmaschine 1 zu wenig rückgeführte Abgasmenge zugeführt wird. Diese zweite Achse ist der Klopfregelingriff. Es wird nicht die EGR Menge m_{EGR} starr über das Motorkennfeld geregelt, sondern die EGR-Menge m_{EGR} wird jeweils aktuell an die Laufruhe bzw. das Klopfen des Brennkraftmaschine 1 angepasst.

[0045] Dazu wird über einen kleinen Beobachtungszeitraum Δt zwischen 10 ms bis 100 ms, beispielsweise 50 ms, die Drehzahländerung Δn der Motordrehzahl n beobachtet und daraus ein Drehungleichförmigkeitsgrad δ ermittelt. Wenn die Drehzahländerung Δn der Motordrehzahl n innerhalb des Beobachtungszeitraumes Δt einen definierten Grenzwert Δn_G übersteigt, wenn also der Drehungleichförmigkeitsgrad δ einen definierten Grenzwert δ_G überschreitet, wird davon ausgegangen, dass eine zu hohe EGR-Menge m_{EGR} diese Laufunruhe verursacht. Die EGR-Menge m_{EGR} wird dann abgesenkt, indem das EGR-Ventil 18 weiter geschlossen wird. Dies erfolgt gesteuert oder geregelt über einen beispielsweise in die elektronische Steuereinheit 22 integrierten EGR-Regler, beispielsweise einen PI-Regler oder einen I-Regler. Alternativ zur Auswertung des Drehzahlsignals kann auch eine durch das Fahrzeugdiagnosesystem ermittelte Laufruhe verwendet werden.

[0046] Andererseits kann eine zu niedrige EGR-Menge m_{EGR} bei hohen Motorlasten oder bei sehr hohen Verdichtungsverhältnissen auch schon bei moderaten Lasten zu Klopfen führen. Wenn der Klopfensensor 21 ein Klopfereignis signalisiert, kann die EGR-Menge m_{EGR} angehoben werden, indem das EGR-Ventil 18 weiter geöffnet wird. Wenn das EGR-Ventil 18 weit oder ganz geöffnet ist, kann die EGR-Menge m_{EGR} durch Schließen der Vordrosselklappe 13 und die sich somit ein-

stellende höhere Druckdifferenz über das EGR-Ventil 18 weiter erhöht werden.

[0047] Weitere Korrekturen der Stellungen des EGR-Ventil 18 können erfolgen ...

- ... in Abhängigkeit des Betriebsstatus des elektrischen Abgasturboladers 7: Wird der elektrische Abgasturbolader 7 motorisch betrieben, wird die Öffnungsposition des EGR-Ventiles 18 vergrößert;
wird der elektrische Abgasturbolader 7 generatorisch betrieben, wird die Öffnungsposition des EGR-Ventiles 18 verkleinert;
- ... in Abhängigkeit der Druckdifferenz über das EGR-Ventil 18: Ein höheres Druckverhältnis führt zu einer Verkleinerung der Öffnungsposition des EGR-Ventiles 18;
- ... in Abhängigkeit der Beladung des Partikelfilters 16: Höhere Beladung führt zu höherem Gegendruck und damit zu einer Verminderung der Öffnungsposition des EGR-Ventiles 18;
- ... in Abhängigkeit der EGR Temperatur: Höhere Temperatur führt zu einem Öffnen der EGR Ventils 18;
- ... in Abhängigkeit der Ansaugluft und / oder Saugrohrtemperatur: Höhere Temperatur führt zu einem Öffnen der EGR Ventils 18.

[0048] Fig. 5 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren in einem Blockdiagramm. Dabei wird in Schritt S1 untersucht, ob innerhalb eines Betrachtungszeitraumes Δt von beispielsweise 50 ms der Drehungleichförmigkeitsgrad δ einen definierten Schwellwert δ_G und/oder ob die Drehzahldifferenz Δn einen definierten Schwellwert Δn_G überschreitet. Ist dies der Fall, so wird in Schritt S2 die Regelkorrektur C_{EGR} so verändert, dass die EGR-Menge m_{EGR} abgesenkt, also beispielsweise das EGR-Ventil 18 geschlossen wird.

[0049] In Schritt S3 wird untersucht, ob Klopfereignisse K stattfinden bzw. ob die innerhalb eines Beobachtungszeitraumes gezählte Anzahl an Klopfereignissen K einen definierten Schwellwert K_G überschreitet. Ist dies der Fall, so wird in Schritt S4 die Regelkorrektur C_{EGR} so verändert, dass die EGR-Menge m_{EGR} erhöht, also beispielsweise das EGR-Ventil 18 weiter geöffnet wird.

[0050] Die Schritte S1 und S3 können kontinuierlich oder diskontinuierlich, gleichzeitig oder zeitlich nacheinander ausgeführt werden und werden während des Motorbetriebes nach Bedarf in jenen Betriebsbereichen der Brennkraftmaschine 1 wiederholt durchgeführt, in welchen Abgasrückführung vorgesehen ist.

[0051] In weiterer Ausführung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Regelung der Abgasrückführung selbstlernend erfolgt. Dies bedeutet, dass wiederholt erforderliche Korrekturmaßnahmen, welche bei wiederholbarer Konfiguration von Motorparametern immer wieder durchgeführt werden müssen, selbständig durch die elektronische Steuereinheit 22 in das Motorkennfeld eingetragen werden und somit die im Motorkennfeld hinterlegten EGR-Raten adaptiert werden.

[0052] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die EGR-Regelung ohne jegliche zusätzliche Sensorik, nur mit den in Serienfahrzeugen vorhandenen Sensoren 20, 21 für die Ermittlung der Drehzahl n und zur Feststellung von Klopfereignissen K. Regelgrößen sind dabei Drehzahlschwankungen bzw. Drehungleichförmigkeitsgrad δ und Klopfregeltiefe bzw. Anzahl an Klopfereignissen K.

[0053] Die EGR-Regelung wird dabei selektiv aktiviert und deaktiviert, damit nicht zum Beispiel schlechte Straßenverhältnisse, die Auswirkungen auf die Laufruhe der Brennkraftmaschine 1 haben, eine Adaptierung der EGR-Rate verursachen. Gleiches gilt beispielsweise für Gangschaltvorgänge oder ähnliche Störeinflüsse, die die Drehzahl n beeinflussen. So kann etwa vorgesehen sein, dass ein Reglereingriff nur bei vollständig geschlossener oder vollständig getrennter Schaltkupplung 23 (siehe Fig. 1), nicht aber im Schließvorgang erlaubt ist. Weiters ist es günstig, wenn ein minimaler Drehungleichförmigkeitsgrad $\delta_{min,R}$, ein maximaler Fahrpedalgradient, eine minimale Motorlast $L_{min,R}$ und/oder eine minimale Motordrehzahl $n_{min,R}$ für einen EGR-Reglereingriff vorgegeben werden/wird. Weiters kann die Regelung deaktiviert werden, wenn der Gradient der Motorlast einen vordefinierten Wert überschreitet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1), bei der Abgas zumindest in einem Betriebsbereich über zumindest ein EGR-Ventil (18) und zumindest eine Abgasrückführleitung (6) von einem Auslasssystem (4) in ein Einlasssystem (3) rückgeführt wird, wobei Basiswerte für eine EGR-Menge (m_{EGR}) an rückgeführtem Abgas und/oder eine Öffnung des EGR-Ventils (18) in einem Motorkennfeld der Brennkraftmaschine (1) vorgegeben werden und eine Korrekturmaßnahme für die EGR-Menge (m_{EGR}) durchgeführt wird, indem die Drehzahl (n) der Brennkraftmaschine (1) gemessen und eine Drehzahldifferenz (Δn) und/oder ein Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) innerhalb eines definierten Beobachtungszeitraumes (Δt) ermittelt und die EGR-Menge (m_{EGR}) an rückgeführtem Abgas reduziert wird, wenn die Drehzahldifferenz (Δn) und/oder der Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) einen definierten Schwellwert (Δn_G , δ_G) überschreitet, wobei die Verbrennung der Brennkraftmaschine (1) in Bezug auf Klopfen überwacht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die EGR-Menge (m_{EGR}) erhöht wird, wenn zumindest ein Klopfereignis (K) - vorzugsweise über zumindest einen Klopfensensor (21) - festgestellt und ein definierter Wert (K_G) für das zumindest eine festgestellte Klopfereignis (K) und/oder eine definierte Klopfregeltiefe (KR) überschritten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erhöhung der EGR-Menge (m_{EGR}) ein in der Abgasrückführleitung (6) angeordnetes EGR-Ventil (18) geöffnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erhöhung der EGR-Menge (m_{EGR}) eine Vordrosselklappe (13) geschlossen wird, welche im Einlasssystem (3) stromaufwärts einer Mündung der Abgasrückführleitung (6) in das Einlasssystem (3) angeordnet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Stellung des EGR-Ventils (18) und/oder eine Stellung der Vordrosselklappe (13) in Abhängigkeit zumindest eines Betriebsparameters korrigiert wird, wobei vorzugsweise der Betriebsparameter aus folgender Gruppe ausgewählt wird: Betriebsmodus eines elektrischen Abgasturboladers (7); Druckverhältnis über das EGR-Ventil (18); Beladung eines im Auslasssystem (4) angeordneten Partikelfilters (16).
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine - vorzugsweise mehrmals - durchgeführte Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) im Motorkennfeld eingetragen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn der ermittelte Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) mindestens einem definierten minimalen Drehungleichförmigkeitsgrad ($\delta_{\text{min,R}}$) entspricht.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn eine bestimmte Klopfregeltiefe (KR) überschritten wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn ein aktueller Fahrpedalgradient maximal einem definierten maximalen Fahrpedalgradient entspricht.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn eine aktuelle Motorlast (L) mindestens einer definierten minimalen Motorlast ($L_{\text{min,R}}$) entspricht.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn ein Gradient der Motorlast (L) einen bestimmten Wert nicht überschreitet.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn eine aktuelle Motordrehzahl (n) mindestens einer definierten minimalen Motordrehzahl ($n_{\text{min,R}}$) entspricht.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Korrekturmaßnahme der EGR-Menge (m_{EGR}) nur dann durchgeführt wird, wenn eine im Antriebsstrang der Brennkraftmaschine (1) angeordnete Schaltkupplung vollständig getrennt oder vollständig geschlossen ist.
13. Brennkraftmaschine (1), bei der Abgas zumindest in einem Betriebsbereich über zumindest eine Abgasrückführleitung (6) von einem Auslasssystem (4) in ein Einlasssystem (3) rückführbar ist, mit einem Drehzahlsensor (20) zur Feststellung ein Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) der Brennkraftmaschine (1), wobei eine EGR-Menge (m_{EGR}) an rückgeführtem Abgas reduzierbar ist, wenn der Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) einen definierten Schwellwert (δ_G) für den Drehungleichförmigkeitsgrad (δ) überschreitet, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine (1) zumindest einen Klopfsensor (21) zum Feststellen von Klopfereignissen (K) bei der Verbrennung aufweist, und dass die EGR-Menge (m_{EGR}) in Abhängigkeit des Auftretens zumindest eines Klopfereignisses (K) und/oder einer definierten Klopfregeltiefe (KR) erhöhbar ist.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

2/3

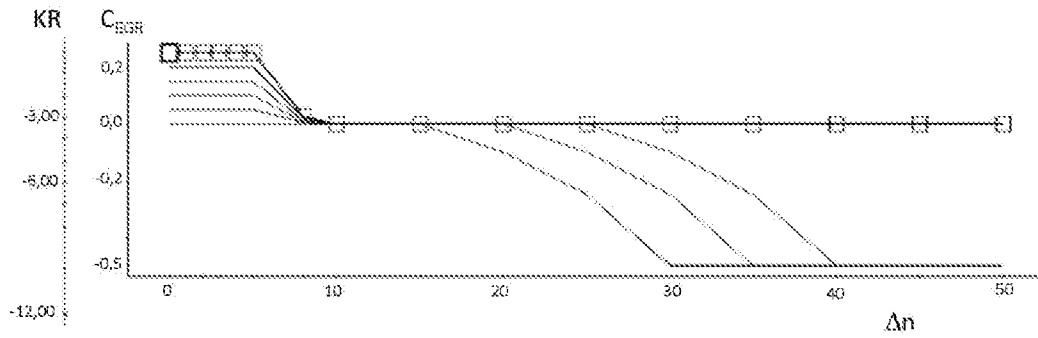


Fig. 2

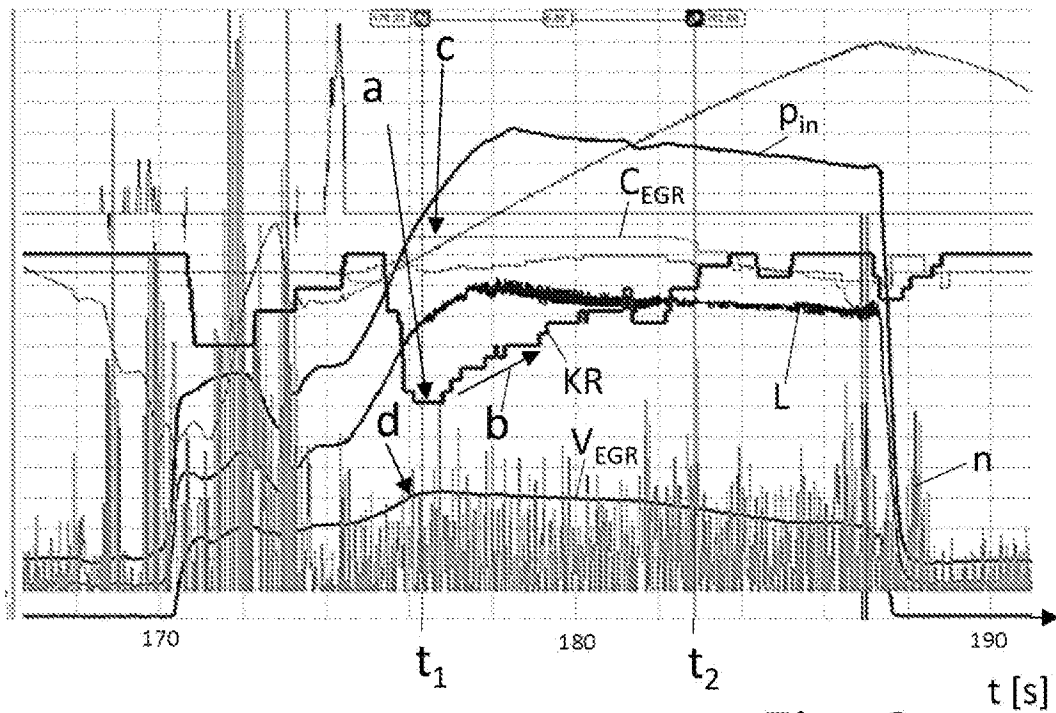


Fig. 3

3/3

