



Republik  
Österreich  
Patentamt

(11) Nummer: **AT 001 922 U2**

(12) **GEBRAUCHSMUSTERSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 160/97

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **F02D 3/00**

(22) Anmeldetag: 14. 3.1997

(42) Beginn der Schutzdauer: 15.12.1997

(45) Ausgabetag: 26. 1.1998

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

AVL LIST GMBH  
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

PIOCK WALTER DR.  
HITZENDORF, STEIERMARK (AT).  
WIRTH MARTIN DIPL.ING. DR.  
HITZENDORF, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUR EINBRINGUNG VON KRAFTSTOFF IN DEN BRENNRAUM EINER DIREKTEINSPRITZENDEN OTTO-BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einbringung von Kraftstoff in den Brennraum einer direkteinspritzenden gedrosselten Otto-Brennkraftmaschine, vorzugsweise mit Ladungsschichtung im Brennraum. Um die NO<sub>x</sub>- und HC-Emissionen während der Start- und Warmlaufphase zu reduzieren, ist vorgesehen, daß der Einspritzbeginn für den Kraftstoff in den Bereich des Kompressionstaktes verschoben wird, während das Gesamtluftverhältnis  $\lambda = 1$  oder leicht mager ist.

AT 001 922 U2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einbringung von Kraftstoff in den Brennraum einer im Teillastbetrieb gedrosselten direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschine.

Bekannte Konzepte für die Otto-Direkteinspritzung lassen sich hinsichtlich der Gemischaufbereitung in zwei Gruppen unterteilen. Die eine Gruppe bilden auf homogenen Betrieb ausgelegte Otto-Direkteinspritzsysteme, welche vor allem das gegenüber der Saugrohreinspritzung verbesserte Vollastpotential ausnützen. Dieses sehr einfache Verbrennungskonzept eignet sich sehr gut zur Erfüllung schärfster Emissionsvorschriften bei gleichzeitigem nur geringem Verbrauchsvorteil. Die andere Gruppe von Otto-Direkteinspritzsystemen ist auf inhomogenen bzw. geschichteten Betrieb ausgelegt, was Grundvoraussetzung ist für eine weitgehende Entdrosselung im Teillastbereich und den dadurch erreichbaren deutlichen Verbrauchsvorteilen. Otto-Brennkraftmaschinen mit Ladungsschichtung sind beispielsweise aus der EP 0 598 941 B1 oder der EP 0 741 237 A1 bekannt.

Zum Unterschied zu direkteinspritzenden Dieselmotoren, wo die Kraftstoffeinspritzung unmittelbar vor der Verbrennung erfolgt, ist bei direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschinen zur Ausbildung eines zündfähigen Gemisches im Brennraum ein früherer Einspritzzeitpunkt notwendig, um Kraftstofftransport und Aufbereitung sicherzustellen.

So liegt der Beginn der Kraftstoff-Einspritzung bei gedrosselten Brennkraftmaschinen mit direkter Einspritzung der eingangs genannten Art bei etwa 320° bis 250° Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt. Dadurch kann bei betriebswarmem Motor eine ausreichende Homogenisierung im Brennraum erzeugt werden, was Voraussetzung ist, um Emissionswerte zu erreichen, die mit den Emissionen aus konventionellem Betrieb mit Saugrohreinspritzung vergleichbar sind. Nachteilig ist allerdings, daß insbesondere während der Start- und Warmlaufphase wie bei Saugrohreinspritzmotoren relativ hohe Kohlenwasserstoffemissionen auftreten. Durch Spätverstellung der Zündung während dieser Phase gelingt es, die HC-Emissionen im Bereich von etwa 20% zu senken, was einen gewissen Kraftstoffmehrverbrauch mit sich bringt, der aber während der kurzen Warmlaufphase in Kauf genommen wird. Begrenzend für die Spätverstellung der Zündung sind die zyklischen Schwankungen.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, während der Start- und Warmlaufphase bei direkteinspritzenden gedrosselten Otto-Brennkraftmaschinen die Emissionen weiter zu verringern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß während der Start- und/oder Warmlaufphase der gedrosselten Brennkraftmaschine der Einspritzbeginn für den Kraftstoff in den Bereich des Kompressionstaktes verschoben wird.

Es hat sich gezeigt, daß durch eine Verlagerung des Einspritzbeginnes für den Kraftstoff nach „spät“ sowohl die NO<sub>x</sub>-Emissionen als auch die HC-Emissionen bedeutend gesenkt werden können. Dadurch kommt es zu einer Verzögerung der Verbrennung, was einerseits zu niedri-

geren Verbrennungsspitzentemperaturen, andererseits zu höheren Verbrennungsendtemperaturen führt. Durch die deutliche Reduzierung der Verbrennungsspitzentemperaturen wird die Entstehung von  $\text{NO}_x$ -Emissionen behindert. Andererseits begünstigt die verzögerte Verbrennung durch die höheren Temperaturen am Verbrennungsende die Oxidation der Kohlenwasserstoffe, was sich vorteilhaft auf die HC-Emissionswerte auswirkt. Der Beginn der Einspritzung wird dabei auf einen Zeitpunkt etwa zwischen  $160^\circ$  Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt und  $70^\circ$  Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt eingestellt. Zusätzlich bringt die höhere Temperatur des Verbrennungsgases eine kürzere Warmlaufphase, da das „Anspringen“ des Katalysators deutlich verkürzt wird.

Die Einspritzmenge wird während der Start- und Warmlaufphase bei gedrosseltem Motor so gewählt, daß das Gesamtluftverhältnis  $\lambda = 1$  oder leicht mager ist.

Es hat sich gezeigt, daß bei der erfindungsgemäßen Einstellung des Einspritzbeginnes zwar die  $\text{NO}_x$ - und HC-Emissionen drastisch sinken, dabei aber die Rußemissionen ansteigen können. Um letzteres zu vermeiden, ist in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, daß vor und/oder während der Verbrennung ein hohes Turbulenzniveau der Zylinderinnenströmung erzeugt wird. Turbulenzbildende Maßnahmen sind bekannt und können - beispielsweise gemäß der EP 0 598 941 B1 oder der EP 0 741 237 A1 - durch die Form des Kolbenmulde und/oder durch besondere Einlaßkanalgestaltung erreicht werden. Weiters ist es zur Verminderung der Rußemissionen vorteilhaft, wenn nach der Kraftstoffeinspritzung eine Ladungsschichtung erzeugt wird. Ladungsschichtungs bildende Maßnahmen sind ebenfalls beispielsweise aus den genannten Druckschriften bekannt.

Die Erfindung wird anhand der Diagramme näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1a ein Zylinderdruck-Kurbelwinkel-Diagramm, Fig. 1b ein Ventilhub-Kurbelwinkel-Diagramm, Fig. 1c ein Einspritzzeitpunkt-Diagramm, Fig. 2 ein Wärmefreisetzungs-Kurbelwinkel-Diagramm, Fig. 3 ein HC-Kraftstoffverbrauchs-Diagramm und Fig. 4 ein  $\text{NO}_x$ -Kraftstoffverbrauchs-Diagramm.

Fig. 1a zeigt den Zylinderdruck  $p$  über dem Kurbelwinkel  $KW$  aufgetragen, wobei die Linie  $p_z$  den Zylinderdruck mit Zündung und  $p_o$  den Zylinderdruck ohne Zündung bedeutet. In Fig. 1b sind die Ventilhübe  $H_E$  bzw.  $H_A$  für Einlaß- bzw. Auslaßventil dargestellt. Fig. 1c zeigt den Einspritzbeginn der Kraftstoffeinspritzung über dem Kurbelwinkel  $KW$ . Bei konventionellen direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschinen bei homogenem Betrieb liegt der Einspritzbeginn  $E_1$  meist im Bereich nach dem Schließzeitpunkt des Auslaßventiles, etwa bei  $320^\circ$  Kurbelwinkel  $KW$  vor dem oberen Totpunkt  $OT$ . Gemäß der Erfindung wird der Einspritzbeginn  $E_2$  dagegen in die Kompressionsphase, beispielsweise etwa in den Bereich des Schließzeitpunktes des Einlaßventiles und später, gelegt.

In den Fig. 2 bis 4 zeigt jeweils die Linie 1 einen Einspritzbeginn von  $320^\circ$  Kurbelwinkel  $KW$  vor dem oberen Totpunkt  $OT$ , eine Einstellung, wie sie bei bekannten direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschinen verwendet wird. Die Linie 2 zeigt eine Einspritzbeginneinstellung von  $130^\circ$  Kurbelwinkel  $KW$  vor dem oberen Totpunkt  $OT$  gemäß einem ersten Ausführungs-

rungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, die Linie 3 zeigt einen Einspritzbeginn von  $110^\circ$  Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt OT gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 2 ist die Wärmefreisetzung  $Q$  über dem Kurbelwinkel KW aufgetragen. Deutlich ist zu erkennen, daß der Wärmefreisetzungsspitzenwert für die die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung repräsentierenden Kurven 2 und 3 deutlich unter dem Spitzenwert der Linie 1 liegt. Dadurch kommt es zu wesentlich geringeren Spitzentemperaturen während der Verbrennung. Andererseits ist die Verbrennungsendtemperatur bei den durch die Linien 2 und 3 dargestellten Beispielen aufgrund des verzögertem Verbrennungsendes deutlich höher als bei der in Linie 1 dargestellten, bisher üblichen Einspritzbeginn-Festlegung. Das Gesamtluft-Verhältnis  $\lambda$  beträgt während der Start- und Warmlaufphase etwa den Wert 1,0 oder ist leicht mager ( $1,0 \leq \lambda \leq 1,4$ ).

In Fig. 3 sind die relativen Kohlenwasserstoffemissionen HC über dem relativen Kraftstoffmehrerverbrauch  $\Delta f$  dargestellt, welcher sich auf eine kraftstoffoptimierte Einspritzbeginneinstellung von  $320^\circ$  Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt OT bei homogenem Mischungsverhältnis und optimalem Zündzeitpunkt bezieht. Die erfindungsgemäß nach „spät“ eingestellte Einspritzbeginnfestsetzung bei Ladungsschichtung im Brennraum zeigt, daß bei einer Einspritzbeginnfestlegung von  $130^\circ$  Kurbelwinkel KW vor OT (Linie 3) die HC-Emissionen im kraftstoffoptimalen Punkt um etwa 50%, bei Festsetzung des Einspritzbeginns auf  $110^\circ$  Kurbelwinkel KW vor OT (Linie 2) auf etwa 30% im Vergleich zur üblichen Ausführung gesenkt werden kann. Es kommt zwar bei der erfindungsgemäßen Kraftstoffeinbringung zu einer geringfügigen Erhöhung des Kraftstoffverbrauches  $\Delta f$  um etwa 10%, was allerdings nicht von besonderer Bedeutung ist, da sich die Start- und Warmlaufphase des Motors und somit die Zeit des einspritzbeginnbedingten erhöhten Kraftstoffverbrauches auf einen sehr kurzen Zeitraum beschränkt. Nach der Start- bzw. Warmlaufphase wird der Einspritzzeitpunkt für homogenen Betrieb wieder in den Bereich des Einlaßtaktes verschoben.

In Fig. 4 sind die relativen Stickoxidemissionen  $\text{NO}_x$  über dem relativen Kraftstoffmehrerverbrauch  $\Delta f$  für den in Linie 1 dargestellten konventionellen Einspritzzeitpunkt von  $320^\circ$  Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt OT bei homogenem Gemisch und optimalem Zündzeitpunkt einerseits und die beiden erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele bei geschichtetem Betrieb bei  $\lambda = 1$  mit einem Einspritzbeginn von  $110^\circ$  Kurbelwinkel vor dem oberen Totpunkt OT (Linie 2) und für den Einspritzbeginn von  $130^\circ$  Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt OT (Linie 3) andererseits dargestellt. Auffallend ist, daß bei einem Einspritzbeginn von  $130^\circ$  KW vor OT (Linie 2) eine größere Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen auf etwa 30 bis 40% im Vergleich zur konventionellen Einspritzbeginnfestlegung zu erreichen ist, als bei der durch Linie 3 dargestellten Ausführung mit einem noch späteren Einspritzzeitpunkt von  $110^\circ$  KW vor OT.

Der Vergleich der Fig. 3 und 4 zeigt, daß die Bestpunkte für HC-Emissionen und  $\text{NO}_x$ -Emissionen bei unterschiedlichen Einspritzbeginnen liegen, sodaß bei Optimierung des Einspritz-

zeitpunktes hinsichtlich  $\text{NO}_x$  und HC-Emissionen der Einspritzbeginn zwischen  $110^\circ$  Kurbelwinkel KW und  $130^\circ$  Kurbelwinkel KW also beispielsweise etwa bei  $120^\circ$  Kurbelwinkel KW vor dem oberen Totpunkt OT liegt.

Im Gegensatz zu bekannten geschichteten Direkteinspritzverfahren für Otto-Brennkraftmaschinen mit nahezu ungedrosseltem Schichtbetrieb wird beim erfindungsgemäßen Verfahren die Brennkraftmaschine in der Start- und Warmlaufphase stark gedrosselt und dabei ein geschichtetes, stöchiometrischer Betrieb gefahren, wodurch sich deutliche Emissionsverbesserungen einstellen.

**ANSPRÜCHE**

1. Verfahren zur Einbringung von Kraftstoff in den Brennraum einer im Teillastbetrieb gedrosselten direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Start- und/oder Warmlaufphase der gedrosselten Brennkraftmaschine der Einspritzbeginn für den Kraftstoff in den Bereich des Kompressionstaktes verschoben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Beginn der Einspritzung auf einen Zeitpunkt zwischen 160° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (OT) und 70° Kurbelwinkel (KW) vor dem oberen Totpunkt (OT) eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einspritzmenge während der Start- und Warmlaufphase so gewählt wird, daß ein Gesamtluftverhältnis  $\lambda = 1$  oder leicht mager erreicht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor und/oder während der Verbrennung ein hohes Turbulenzniveau der Zylinderinnenströmung erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Kraftstoffeinspritzung eine Ladungsschichtung erzeugt wird.



