



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 016 037 A1** 2007.10.11

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 016 037.1**

(22) Anmeldetag: **05.04.2006**

(43) Offenlegungstag: **11.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02D 41/40** (2006.01)  
**F02D 41/06** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

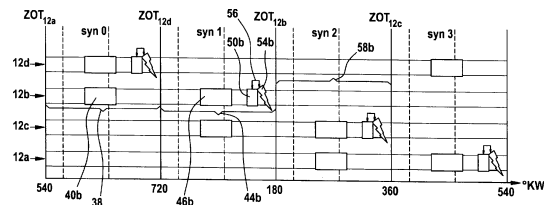
(72) Erfinder:

**Schenk, Peter, 71638 Ludwigsburg, DE; Weiss, Rüdiger, 71159 Mötzingen, DE; Raimann, Jürgen, 71263 Weil der Stadt, DE; Amler, Markus, 71229 Leonberg, DE; Porten, Guido, 71665 Vaihingen, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Bei einer Brennkraftmaschine wird Kraftstoff mindestens während eines Verdichtungsakts (44) direkt in mindestens einen Brennraum so eingespritzt, dass im Brennraum ein geschichtetes Gemisch vorliegt. Dieses wird dann fremdgezündet (54). Es wird vorgeschlagen, dass Kraftstoff während des Verdichtungsakts (44) durch mindestens eine Haupteinspritzung (46) und eine Zündeinspritzung (50) eingebracht wird, wobei die Zündeinspritzung (50) unmittelbar vor einer Zündung (54) erfolgt und durch sie wenigstens im Wesentlichen kein Drehmoment erzeugt wird.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Gegenstand der Erfindung sind ferner ein Computerprogramm, ein elektrisches Speichermedium sowie eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung.

**[0002]** In der Veröffentlichung „Die neue Emissionsstrategie der Benzin-Direkteinspritzung“, MTZ 11/2003, Seiten 916 bis 923, wird die Möglichkeit eines "Schichtstarts" beschrieben. Im Gegensatz zu einem homogenen Niederdruckstart, bei dem während eines Ansaugtaktes eingespritzt wird, wird die Einspritzung beim Schichtstart erst spät während des Kompressionstaktes abgesetzt. Hierdurch ergibt sich ein geschichtetes Kraftstoff-Luftgemisch mit einer fetten Gemischwolke im Bereich der Zündkerze.

**[0003]** Der Vorteil eines solchen Schichtstarts gegenüber einem herkömmlichen Niederdruckstart liegt darin, dass vor allem bei niedrigen Umgebungs- und Motortemperaturen eine geringere Anreicherung erforderlich ist, was das Emissionsverhalten der Brennkraftmaschine verbessert. Eine solche Anreicherung ist erforderlich, da ein Anteil des eingespritzten Kraftstoffes im Start als Wandfilm an den kalten Brennraumwänden haften bleibt und somit nicht in vollem Umfang an der eigentlichen Verbrennung während der Startphase teilnimmt. Der solchermaßen unverbrannte Kraftstoff wird unverbrannt ausgeschoben und führt zu unerwünschten HC-Emissionen. Zum Ausgleich der an der Verbrennung nicht teilnehmenden Kraftstoffmasse muss die Einspritzmenge entsprechend erhöht werden. Beim homogenen Niederdruckstart sind Anreicherungsfaktoren von 2 bis 3 über der stöchiometrischen Menge nicht ungewöhnlich.

**[0004]** Nach der üblicherweise ungefähr 1 bis 2 Sekunden dauernden Schichtstartphase, also nach den allerersten Einspritzungen und Zündungen, schließt sich eine Katalysatorheizphase an, während der eine Homogen-Split-Einspritzung durchgeführt wird. In der oben genannten Veröffentlichung wird hierzu vorgeschlagen, eine erste Einspritzung während des Ansaugtaktes abzusetzen, durch die ein mageres und homogenes Grundgemisch im Brennraum erzeugt wird. Danach erfolgt eine zweite Einspritzung während des anschließenden Verdichtungstaktes, durch die eine fette Gemischwolke im Bereich der Zündkerze bereitgestellt wird. Die Zündung erfolgt vergleichsweise spät kurz nach dem oberen Totpunkt zwischen dem Verdichtungstakt und dem sich anschließenden Expansionstakt. Hierdurch wird eine späte Schwerpunktlage der Verbrennung realisiert, was zur Folge hat, dass ein Großteil der frei werden-

den Energie nicht in mechanische Energie umgewandelt sondern im Abgasstrom als Wärme freigesetzt wird. Hierdurch ist ein sehr schnelles Aufheizen eines Katalysators möglich. Die Erzeugung der Ladungsschichtung wird in beiden Fällen vorzugsweise durch ein strahlgeführtes Verfahren erzeugt.

**[0005]** Aus der DE 10 2004 017 989 A1 ist ferner bekannt, im Betrieb mit sehr magerem Ladungsgemisch eine Voreinspritzung während eines Ansaugtaktes und eine Haupteinspritzung während eines Verdichtungstaktes unmittelbar vor der Zündung abzusetzen. Dabei ist die Gemischaufbereitung jedoch nicht optimal.

## Offenbarung der Erfindung

## Technische Aufgabe

**[0006]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren für den Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoff-Direkteinspritzung bereitzustellen, mit dem die Emissionen und der Kraftstoffverbrauch reduziert werden können.

## Technische Lösung

**[0007]** Die gestellte Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Lösungsmöglichkeiten sind in nebengeordneten Patentansprüchen angegeben, die ein Computerprogramm, ein elektrisches Speichermedium sowie eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung betreffen. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben. Darüber hinaus finden sich für die Erfindung wesentliche Merkmale in der nachfolgenden Beschreibung und in den Zeichnungen. Dabei können die besagten Merkmale für die Erfindung auch in ganz unterschiedlichen Kombinationen wesentlich sein, ohne dass hierauf explizit hingewiesen wird.

## Vorteilhafte Wirkungen

**[0008]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann auch bei unterschiedlichsten und armen Ladungsschichtungen im Brennraum eine sichere Entflammung gewährleistet werden. Damit wird der Betriebsbereich der Brennkraftmaschine erheblich erweitert, ohne dass Zündaussetzer zu befürchten sind. Die eigentliche drehmomenterzeugende Haupteinspritzung kann jedoch weiterhin auf jenen Einspritzwinkel während des Verdichtungs- oder Kompressionstaktes gelegt werden, bei dem eine gewünschte Ladungsschichtung und Gemischaufbereitung am besten gewährleistet ist. Hierdurch werden gleichzeitig Emissionen und Verbrauch gesenkt. Die Menge der Haupteinspritzung (die auch durch eine Mehrfacheinspritzung eingebracht werden kann) ist deutlich größer als die Menge der Zündinspritzung. Die

Zündeinspritzung selbst ist so gering, dass sie nicht oder zumindest nicht wesentlich zum Drehmoment der Brennkraftmaschine beiträgt und auch den Kraftstoffverbrauch nicht wesentlich erhöht. Mit ihr wird lediglich in einem sehr kleinen Bereich direkt bei der Zündkerze ein so fettes Gemisch erzeugt, dass sich eine "Zündfackel" im Brennraum ergibt, die das im Normalfall magere Restgemisch sicher entflammen kann.

**[0009]** Die Zündeinspritzung erfolgt unmittelbar vor der Zündung noch vor Erreichen des oberen Totpunkts zwischen Verdichtungs- und Expansionstakt. Unmittelbar bedeutet, dass der Abstand, in Grad Kurbelwinkel ( $^{\circ}$ KW) ausgedrückt, maximal etwa  $5^{\circ}$ KW, vorzugsweise nur etwa  $1^{\circ}$ KW beträgt. Gegebenenfalls können Zündung und Zündeinspritzung auch gleichzeitig erfolgen. Der Zündwinkel liegt üblicherweise im Bereich eines Kurbelwinkels von etwa  $15^{\circ}$ KW vor dem oberen Totpunkt, also noch im Verdichtungstakt.

**[0010]** Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere bei niedrigen Umgebungstemperaturen die für einen sicheren Schichtstart erforderliche Anreicherung des Kraftstoffs nochmals reduziert werden, was sich günstig insbesondere auf die HC-Emissionen der Startphase auswirkt. Es kann sogar ein Schichtstart mit einem mageren Startlambda realisiert werden. Beispielsweise kann die Brennkraftmaschine bei einer Motortemperatur von ca.  $20^{\circ}\text{C}$  mit einem Lambdawert von 1 bis 1,5, bei optimierten Brennverfahren sogar mit einem Lambdawert  $>2$  mager gestartet werden. Das zu realisierende Startlambda hängt dabei vorteilhafterweise neben der Motortemperatur von verschiedenen Parametern ab, beispielsweise von der Kraftstoffqualität, der Umgebungstemperatur, etc.. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird während der Startphase auch die Verbrennung verbessert beziehungsweise stabilisiert, was sich ebenfalls günstig auf das Niveau der Emissionen während der Startphase auswirkt. Ferner zeigt eine solchermaßen betriebene Brennkraftmaschine eine erhöhte Robustheit gegenüber unterschiedlichen Kraftstoffqualitäten. Das Startverhalten bei einer Betankung mit „Schlechkraftstoff“ wird also zuverlässiger.

**[0011]** Realisiert wird dies dadurch, dass während der Startphase, also den allerersten Einspritzungen bzw. Umdrehungen der Kurbelwelle, während des Verdichtungstaktes mindestens eine Haupteinspritzung, vorzugsweise bei einem Kurbelwinkel von ungefähr  $80\text{--}30^{\circ}$ KW vor dem oberen Totpunkt zwischen Verdichtungstakt und Expansionstakt, abgesetzt wird. Durch sie wird Kraftstoff in die vorverdichtete und damit vorgewärmte Luft im Brennraum eingespritzt. Danach erfolgt die Zündeinspritzung.

**[0012]** Vorteilhaft ist ferner, wenn nach dem Ende

der Startphase eine Katalysatorheizphase mit einer Homogen-Split-Einspritzung und einem Zündwinkel durchgeführt wird, der im Expansionsstakt, also nach dem oberen Totpunkt zwischen Verdichtungstakt und Expansionsstakt liegt. Der Übergang zwischen der Startphase und der Katalysatorheizphase kann nämlich im Wesentlichen lediglich durch eine vorzugsweise kontinuierliche Spätverstellung des Zündwinkels realisiert werden, was einfach appliziert und so durchgeführt werden kann, dass das von der Brennkraftmaschine erzeugte Drehmoment nicht oder zumindest nicht merklich beeinflusst wird.

**[0013]** Zur Auslösung der Zündeinspritzung wird nur wenig Rechenkapazität benötigt, wenn diese, vorzugsweise deren Ende, wenigstens mittelbar an den Kurbelwinkel der Zündung gekoppelt ist.

**[0014]** Dabei kann der Abstand der Zündeinspritzung von der Zündung wenigstens zeitweise starr sein, was wiederum Ressourcen schont. Ein besseres Emissions- und Startverhalten wird aber erreicht, wenn der Abstand der Zündeinspritzung von der Zündung wenigstens zeitweise von mindestens einer Zustandsgröße (z.B. Anzahl Einspritzungen) der Brennkraftmaschine abhängt

**[0015]** Besonders bevorzugt ist es, wenn zusätzlich mindestens eine Einspritzung während eines Ansaugtaktes erfolgt, vorzugsweise bei einem Kurbelwinkel im Bereich von etwa  $280^{\circ}$ KW vor dem oberen Totpunkt zwischen Verdichtungs- und Expansionsstakt. Damit wird vorzugsweise während der Startphase ein Verfahren realisiert, welches einer Kombination eines Hochdruck-Schichtstartverfahrens und eines Homogen-Split-Einspritzverfahrens entspricht. So können die Vorteile einer strahlgeführten Homogen-Split-Einspritzung bereits während der Startphase, das heißt ohne den sonst üblichen späten Zündwinkel, wie er zum Heizen eines Katalysators erforderlich ist, genutzt werden. Ein solches Verfahren zeichnet sich durch eine besonders robuste Verbrennung bei gleichzeitig geringem Emissionsniveau aus. Auch für die Vermeidung des Klopfens kann ein solches Verfahren interessant sein.

**[0016]** Das Emissionsniveau kann nochmals reduziert werden, wenn die die Startphase charakterisierenden Parameter nicht starr sind, sondern von Umgebungszustandsgrößen und/oder Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine abhängen. Insbesondere können die Aufteilung der Einspritzmenge und/oder die Kurbelwinkel der Einspritzungen von mindestens einer Umgebungszustandsgröße, insbesondere einer Umgebungstemperatur und/oder einer Ansauglufttemperatur, und/oder von mindestens einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine, insbesondere einer relativen Füllung und/oder einer Temperatur einer Komponente der Brennkraftmaschine und/oder von einem Zündwinkel abhängen.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Nachfolgend wird ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit mehreren Zylindern mit jeweils einem Brennraum;

[0019] [Fig. 2](#) einen teilweisen Schnitt durch einen Bereich eines Zylinders der Brennkraftmaschine von [Fig. 1](#); und

[0020] [Fig. 3](#) ein Diagramm, in dem Kraftstoffeinspritzungen und Zündungen der einzelnen Zylinder von [Fig. 1](#) über einem Kurbelwinkel aufgetragen sind.

## Ausführungsformen der Erfindung

[0021] Eine Brennkraftmaschine trägt in [Fig. 1](#) insgesamt das Bezugszeichen **10**. Sie dient zum Antrieb eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs und umfasst vier im Wesentlichen identische Zylinder **12a** bis **12d** mit entsprechenden Brennräumen **14a** bis **14d**. Ein Zylinder **12** ist in [Fig. 2](#) beispielhaft stärker detailliert dargestellt (wenn der Index a-d bei einem Bezugszeichen nicht angegeben ist, bedeutet dies hier und nachfolgend, dass die entsprechenden Ausführungen für alle gleichartigen Komponenten a-d gelten).

[0022] Verbrennungsluft gelangt in die Brennräume **14a** bis **14d** über ein Ansaugrohr **16** und Einlassventile **18a** bis **18d**. Kraftstoff wird in die Brennräume **14a** bis **14d** jeweils durch einen Injektor **20a** bis **20d** eingespritzt. Die Injektoren **20a** bis **20d** sind an ein nicht dargestelltes "Rail" angeschlossen, in dem der Kraftstoff unter hohem Druck gespeichert ist. Beim Kraftstoff handelt es sich vorliegend um Benzin, die in [Fig. 1](#) dargestellte Brennkraftmaschine ist also eine solche mit Benzin-Direkteinspritzung („BDE“). Denkbar ist aber auch die Verwendung eines gasförmigen Kraftstoffes, von Biokraftstoff, oder eines synthetischen Kraftstoffes.

[0023] Das in den Brennräumen **14a** bis **14d** befindliche Kraftstoff/Luftgemisch wird jeweils durch eine Zündkerze **22a** bis **22d** entzündet. Die heißen Verbrennungsabgase werden aus den Brennräumen **14a** bis **14d** über Auslassventile **24a** bis **24d** in ein Abgasrohr **26** abgeleitet. Dieses führt zu einer Katalysatoranlage **28**, welche Schadstoffe im Abgas umwandelt und hierdurch das Abgas reinigt.

[0024] Der Betrieb der Brennkraftmaschine **10** wird von einer Steuer- und Regeleinrichtung **30** gesteuert und geregelt, die Signale von verschiedenen, in [Fig. 1](#) jedoch nicht dargestellten Sensoren und Aktu-

atoren der Brennkraftmaschine erhält, durch die bestimmte Zustandsgrößen ZS der Brennkraftmaschine **10** erfasst werden. Hierzu gehört beispielsweise ein Fahrpedalgeber, mit dem ein Benutzer der Brennkraftmaschine **10** einen Drehmomentwunsch äußern kann.

[0025] Ferner gehören zu diesen Sensoren Temperatursensoren, die beispielsweise die Temperatur eines Zylinderkopfs und/oder eines Kühlmittels der Brennkraftmaschine **10** oder einer durch das Ansaugrohr **16** strömenden Ansaugluft erfassen, ein HFM-Sensor, welcher die über das Ansaugrohr **16** in die Brennräume **14a** bis **14d** gelangende Luftmasse erfasst und Lambdasensoren, die im Bereich der Katalysatoranlage **28** angeordnet sind und das Verhältnis des Kraftstoff/Luftgemisches in den Brennräumen **14a** bis **14d** erfasst. Ein solcher Sensor ist in [Fig. 1](#) beispielhaft gezeigt und mit **31** bezeichnet. Angesteuert werden von der Steuer- und Regeleinrichtung **30** beispielsweise die Injektoren **20**, die Zündkerzen **22** sowie eine in [Fig. 1](#) nicht dargestellte Drosselklappe im Ansaugrohr **16**.

[0026] Wie insbesondere aus [Fig. 2](#) hervorgeht, wird bei der Brennkraftmaschine **10** ein sogenanntes „strahlgeführtes“ Brennverfahren realisiert. Bei einem solchen ist der Injektor **20** vorzugsweise zentral angeordnet. Elektroden **32** der Zündkerze **22** befinden sich üblicherweise relativ nah zum Injektor **20**. Ein Kolbenboden **34** eines Kolbens **36** weist eine die Ladungsschichtung unterstützende Ausgestaltung auf.

[0027] Zum Starten der Brennkraftmaschine **10** wird vorliegend ein Schichtstartverfahren eingesetzt. Dieses wird nun insbesondere unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) erläutert: In [Fig. 3](#) sind die einzelnen Takte eines Arbeitsspiels für jeden Zylinder **12a** bis **12d** über dem Kurbelwinkel (°KW) einer in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) nicht dargestellten Kurbelwelle der Brennkraftmaschine **10** dargestellt. Die jeweiligen zwischen einem Verdichtungstakt und einem Expansionstakt liegenden oberen Totpunkte eines Zylinders **12** sind mit ZOT<sub>12a</sub> bis ZOT<sub>12d</sub> bezeichnet. Beispielhaft wird nun der Zylinder **12b** herausgegriffen, um die während der Startphase der Brennkraftmaschine **10**, also während der allerersten Einspritzungen und Verbrennungen beziehungsweise Umdrehungen der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine **10** realisierte Einspritzstrategie zu erläutern. Diese gilt aber grundsätzlich auch für die anderen Zylinder **12a**, **12c** und **12d**.

[0028] Während eines Ansaugtaktes **38** des Zylinders **12b** wird vom Injektor **20** eine Voreinspritzung **40b** in den Brennraum **14b** abgegeben, und zwar im Bereich eines Kurbelwinkels von ungefähr 300-260 °KW, vorzugsweise von ungefähr 280 °KW vor dem oberen Totpunkt ZOT<sub>12b</sub>. Durch diese Voreinspritzung **40b** wird im Brennraum **14b** ein insgesamt homoge-

nes, also gleichmäßig im Brennraum **12b** verteiltes und sehr mageres Grundgemisch erzeugt, welches in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **42** bezeichnet ist. In einem anschließenden Verdichtungstakt **44b** wird im Bereich eines Kurbelwinkels von ungefähr 80-30 °KW, vorzugsweise von ungefähr 50 °KW vor dem oberen Totpunkt ZOT<sub>12b</sub> eine erste Einspritzung **46b**, die sogenannte "Haupteinspritzung", in den Brennraum **14b** abgesetzt. Hierdurch wird im Zentrum des Brennraums **14b** eine Gemischwolke erzeugt, die fetter ist als das homogene magere Grundgemisch **42** und in **Fig. 2** mit **48** bezeichnet ist. Gegen Ende des Verdichtungstaktes **44b** wird vom Injektor **20** eine zweite Einspritzung **50b**, die sogenannte "Zünderinspritzung", in den Brennraum **14b** abgegeben. Hierdurch wird in einem begrenzten lokalen Bereich um die Elektroden **32** der Zündkerze **22** eine vergleichsweise fette und kleine lokale Gemischwolke erzeugt, die in **Fig. 2** mit **52** bezeichnet ist.

**[0029]** Diese Zünderinspritzung **50** erfolgt als noch während des Verdichtungstaktes und unmittelbar (maximal ungefähr 5 °KW, vorzugsweise nur ungefähr 1 °KW) vor einer anschließenden Zündung (Bezugszeichen **54b** in **Fig. 3**), welche im Bereich eines Kurbelwinkels von ungefähr 20-10 °KW, vorzugsweise von ungefähr 15 °KW vor dem oberen Totpunkt ZOT<sub>12b</sub> durchgeführt wird. Gegebenenfalls sind Zünderinspritzung und Zündung auch gleichzeitig möglich. Der Kurbelwinkel des Endes der Zünderinspritzung **50** ist dabei zeitlich an den Kurbelwinkel der Zündung **54** („Zündwinkel“) gekoppelt. Dies ist in **Fig. 3** durch einen Doppelpfeil mit dem Bezugszeichen **56** dargestellt. Diese Kopplung kann starr oder variabel sein, Letzteres abhängig von aktuellen Zustandsgrößen ZS der Brennkraftmaschine **10**. Der exakte Abstand zwischen Zünderinspritzung **50b** und Zündung **546** kann dabei beispielsweise mittels eines Kennfelds vorgegeben werden.

**[0030]** Die Aufteilung der Einspritzmenge auf die Voreinspritzung **40b**, die Haupteinspritzung **46b** und die Zünderinspritzung **50b**, sowie die Kurbelwinkel der Voreinspritzung **40b** und der Haupteinspritzung **46b** werden von der Steuer- und Regeleinrichtung **30** abhängig von einer Motortemperatur, einer Umgebungstemperatur, einer Motordrehzahl und einer Ansauglufttemperatur sowie von einer relativen Füllung, einer Temperatur des Zylinderkopfs der Brennkraftmaschine **10** und dem Kurbelwinkel der Zündung **54b** (Zündwinkel) festgelegt.

**[0031]** Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 3** wird während der Startphase eine Voreinspritzung **40** während des Ansaugtaktes **38** abgesetzt. Bei einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel wird auf diese Voreinspritzung verzichtet. Bei einem entsprechenden Verfahren würden also nur die Haupteinspritzung **46b** und die Zünderinspritzung **50b** während des Verdichtungstaktes **44b** abgesetzt werden.

**[0032]** Die in **Fig. 3** dargestellte Einspritzstrategie wird während der Startphase, also während der allerersten Umdrehungen der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine **10** angewendet. Danach wird auf eine Homogen-Split-Einspritzung übergegangen, bei welcher der Zündwinkel am Beispiel des Zylinders **12b** im Expansionstakt **58b** nach dem oberen Totpunkt ZOT<sub>12b</sub> liegt. Durch diese Spätverstellung des Zündwinkels wird der Verbrennungsschwerpunkt nach spät verstellt, was zu einer Erhöhung der Abgastemperatur und damit zu einer verbesserten Erwärmung der Katalysatoranlage **28** führt. Detaillierte Erläuterungen zur Homogen-Split-Einspritzung finden sich in der Veröffentlichung "Die neue Emissionsstrategie der Benzin-Direkt-Einspritzung", MTZ 11/2003, Seiten 916 bis 923, deren Offenbarung hiermit ausdrücklich auch zum Gegenstand der vorliegenden Ausführungen gemacht wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (**10**), bei dem Kraftstoff mindestens während eines Verdichtungstaktes (**44**) direkt in mindestens einen Brennraum (**14**) so eingespritzt wird, dass im Brennraum (**14**) ein geschichtetes Gemisch vorliegt, welches dann fremdgezündet wird (**54**), **dadurch gekennzeichnet**, dass Kraftstoff während des Verdichtungstaktes (**44**) durch mindestens eine Haupteinspritzung (**46**) und eine Zünderinspritzung (**50**) eingebracht wird, wobei die Zünderinspritzung (**50**) unmittelbar vor einer Zündung (**54**) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es während einer Startphase für einen Schichtstart der Brennkraftmaschine (**10**) angewendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Ende der Startphase eine Katalysatorheizphase mit einer Homogen-Split-Einspritzung mit einem Kurbelwinkel der Zündung durchgeführt wird, der nach dem oberen Totpunkt (ZOT) zwischen Verdichtungstakt (**44**) und Expansionstakt (**58**) liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zünderinspritzung (**50**) wenigstens mittelbar an den Kurbelwinkel der Zündung (**54**) gekoppelt ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der Zünderinspritzung (**50**) von der Zündung (**54**) wenigstens zeitweise starr ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der Zünderinspritzung (**50**) von der Zündung (**54**) wenigstens zeitweise von mindestens einer Zustandsgröße (ZS) der Brenn-

kraftmaschine (10) abhängt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich mindestens eine Voreinspritzung (40) während eines Ansaugtakts (38) erfolgt, bevorzugt im Bereich eines Kurbelwinkels von ungefähr 300-260 °KW, stärker bevorzugt von ungefähr 280 °KW vor dem oberen Totpunkt (ZOT) zwischen Verdichtungstakt (44) und Expansionstakt (58).

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufteilung der Einspritzmengen der Einspritzungen (40, 46, 50) und/oder die Kurbelwinkel der Einspritzungen (40, 46, 50) von mindestens einer Umgebungsstandsgröße, insbesondere einer Umgebungstemperatur und/oder einer Ansauglufttemperatur, und/oder von mindestens einer Betriebsgröße der Brennkraftmaschine (10), insbesondere einer relativen Füllung und/oder einer Temperatur einer Komponente der Brennkraftmaschine (10) und/oder einem Kurbelwinkel der Zündung (54) und/oder einer Drehzahl einer Kurbelwelle, abhängt.

9. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche programmiert ist.

10. Elektrisches Speichermedium für eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung (30) einer Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass auf ihm ein Computerprogramm zur Anwendung in einem Verfahren der Ansprüche 1 bis 8 abgespeichert ist.

11. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (30) für eine Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 programmiert ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

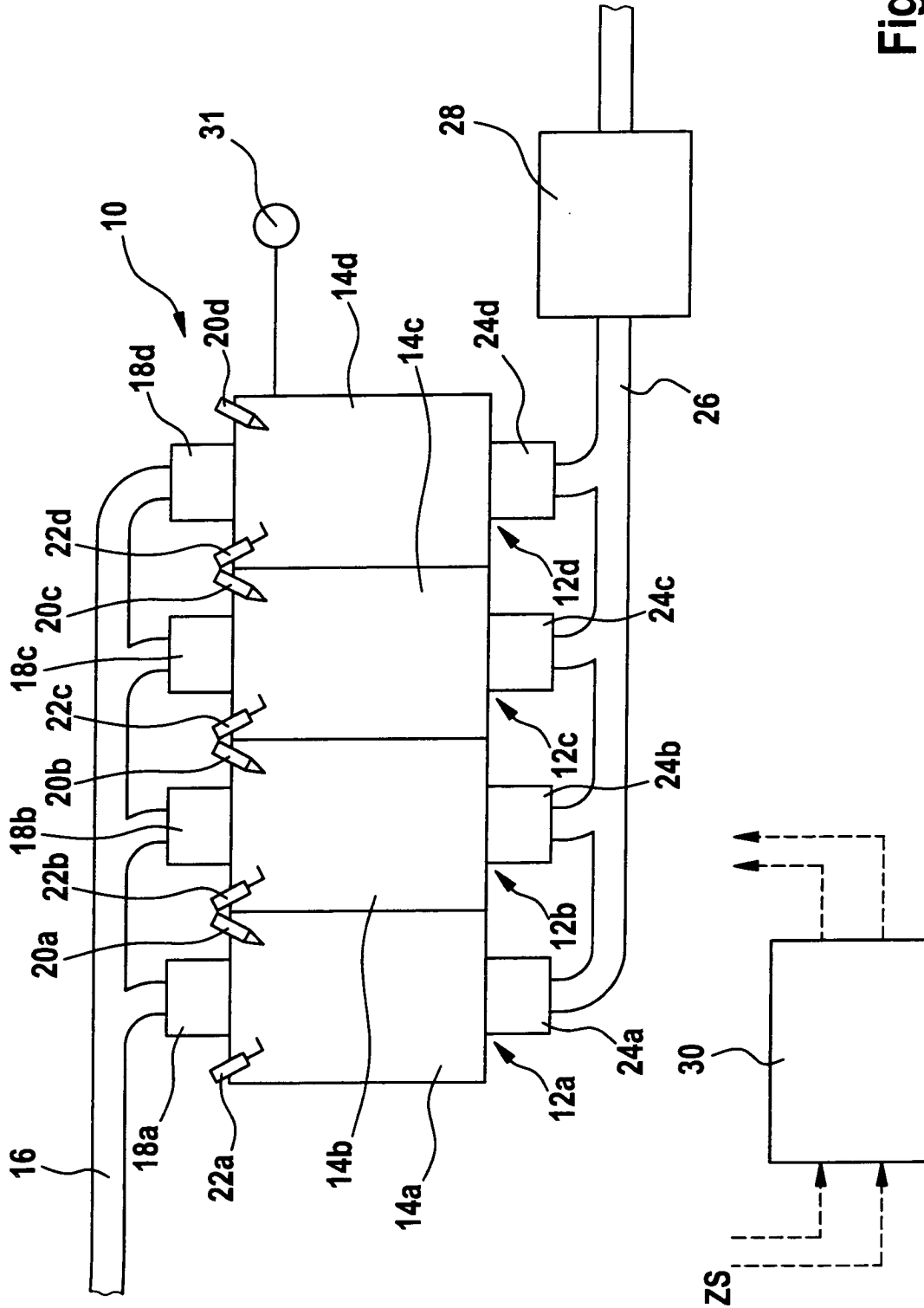
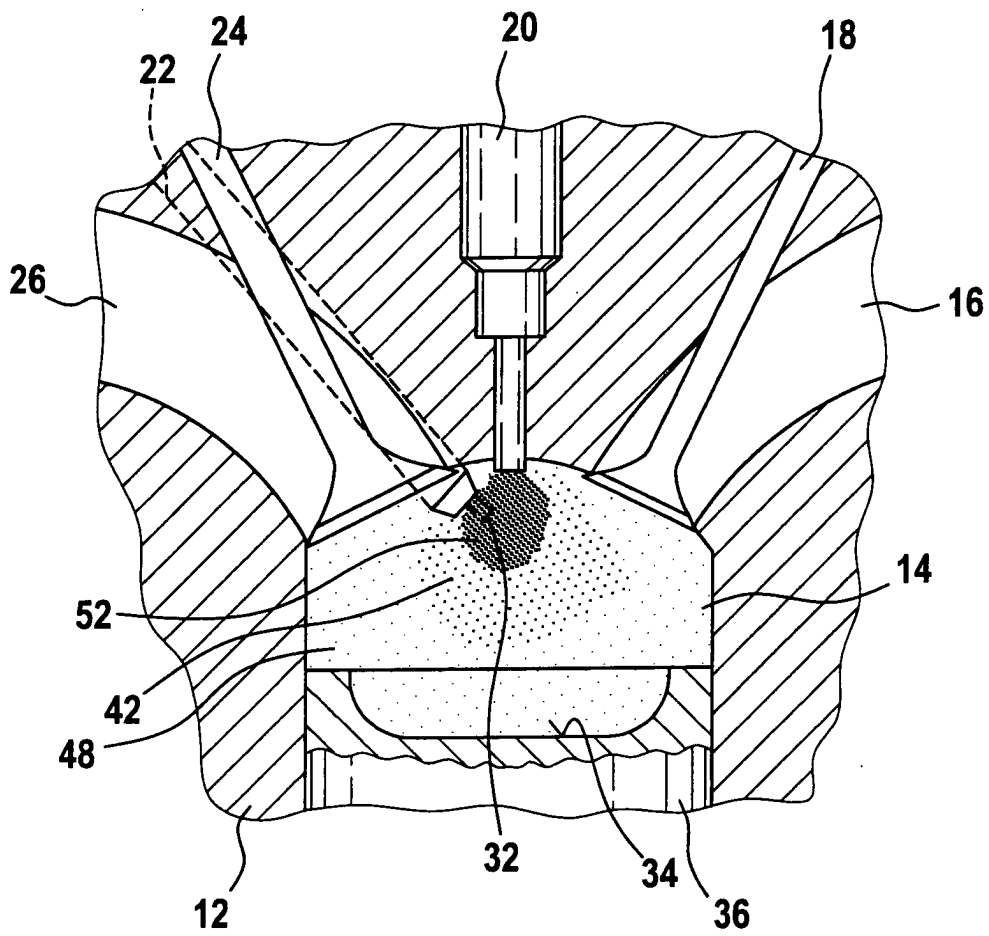


Fig. 1



**Fig. 2**



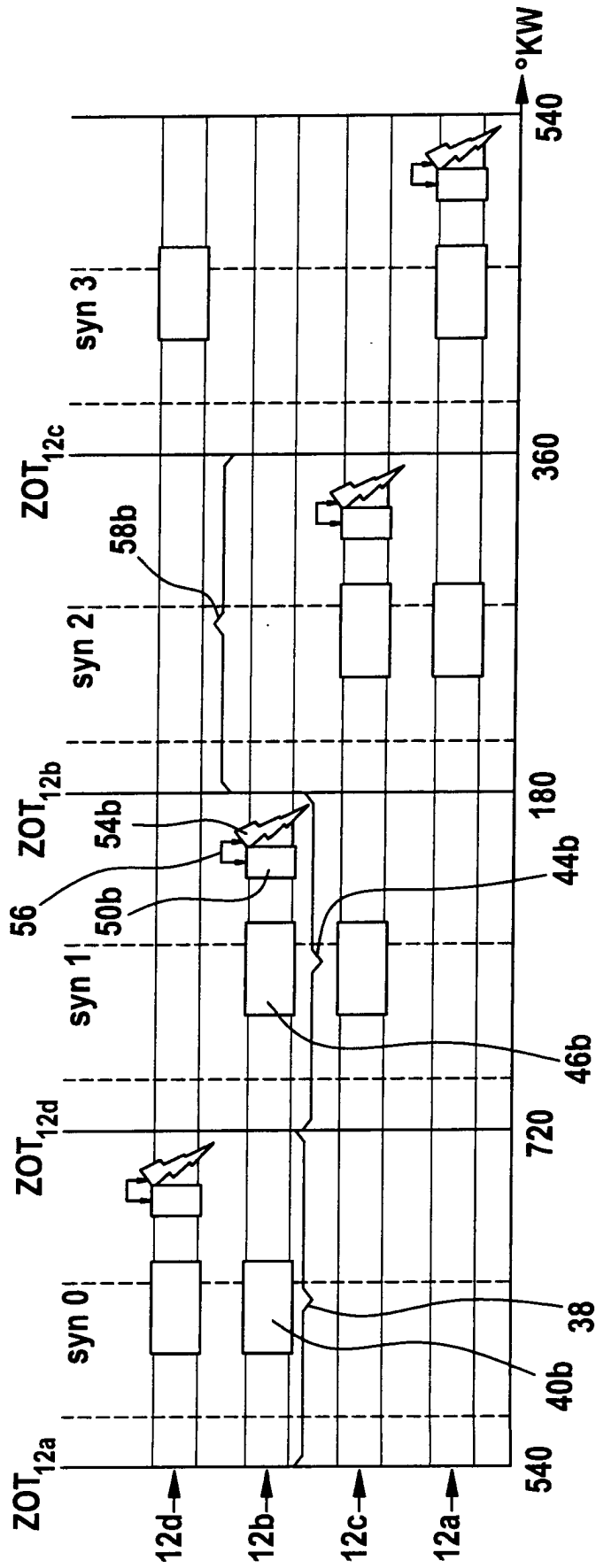


Fig. 3