

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 386 075 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**12.10.2005 Patentblatt 2005/41**

(51) Int Cl.7: **F02P 9/00**, F02D 41/30

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/DE2002/000498**

(21) Anmeldenummer: **02717946.4**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2002/079642 (10.10.2002 Gazette 2002/41)**

(22) Anmeldetag: **13.02.2002**

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DIREKTEINSPRITZENDEN BENZIN-BRENNKRAFTMASCHINE**

METHOD OF OPERATING A DIRECT FUEL INJECTED INTERNAL COMBUSTION ENGINE

PROCEDE D'UTILISATION D'UN MOTEUR ESSENCE A COMBUSTION INTERNE A INJECTION DIRECTE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE FR GB IT**

(72) Erfinder:

- **VOGEL, Manfred**  
**71254 Ditzingen (DE)**
- **HERDEN, Werner**  
**70839 Gerlingen (DE)**

(30) Priorität: **29.03.2001 DE 10115597**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**04.02.2004 Patentblatt 2004/06**

(56) Entgegenhaltungen:

**US-A- 4 349 008**

**US-A- 5 170 760**

**US-A- 5 913 302**

**US-A- 6 085 733**

(73) Patentinhaber: **ROBERT BOSCH GMBH**  
**70442 Stuttgart (DE)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs. Bei dem Verfahren wird Benzin in einen Brennraum der Brennkraftmaschine direkt eingespritzt und ein Zündfunke in dem Brennraum gezündet.

**[0002]** Die Erfindung betrifft außerdem ein Speicherelement für ein Steuergerät einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs. Auf dem Speicherelement ist ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig ist. Das Speicherelement ist bspw. als ein Read-Only-Memory, ein Random-Access-Memory oder als ein Flash-Memory ausgebildet.

**[0003]** Die vorliegende Erfindung betrifft des Weiteren ein Computerprogramm, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig ist.

**[0004]** Schließlich betrifft die Erfindung ein Steuergerät für eine direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs. Das Steuergerät dient zur Steuerung der Einspritzung von Benzin in einen Brennraum der Brennkraftmaschine und der Zündung eines Zündfunkens in dem Brennraum.

## Stand der Technik

**[0005]** Bei aus dem Stand der Technik bekannten direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschinen wird Benzin direkt in den Brennraum eines Zylinders der Brennkraftmaschine eingespritzt. Das in dem Brennraum komprimierte Benzin-Luft-Gemisch wird anschließend durch Zünden eines Zündfunkens in dem Brennraum entzündet. Das Volumen des entzündeten Benzin-Luft-Gemisches dehnt sich explosionsartig aus und versetzt einen in dem Zylinder hin- und herbewegbaren Kolben in Bewegung. Die Hin- und Herbewegung des Kolbens wird auf eine Kurbelwelle der Brennkraftmaschine übertragen.

**[0006]** Direkteinspritzende Brennkraftmaschinen können in verschiedenen Betriebsarten betrieben werden. Als eine erste Betriebsart ist ein sog. Schichtbetrieb bekannt, der insbesondere bei kleineren Lasten verwendet wird. Als eine zweite Betriebsart ist ein sog. Homogenbetrieb bekannt, der bei größeren, an der Brennkraftmaschine anliegenden Lasten zur Anwendung kommt. Die verschiedenen Betriebsarten unterscheiden sich insbesondere in dem Einspritzzeitpunkt und der Einspritzdauer sowie in dem Zündzeitpunkt.

**[0007]** Im Schichtbetrieb wird das Benzin während der Verdichtungsphase der Brennkraftmaschine in den Brennraum derart eingespritzt, dass sich im Zeitpunkt der Zündung eine Kraftstoffwolke in unmittelbarer Umgebung einer Zündkerze befindet. Diese Einspritzung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. So ist es

möglich, dass die eingespritzte Kraftstoffwolke sich bereits während bzw. unmittelbar nach der Einspritzung bei der Zündkerze befindet und von dieser entzündet wird. Ebenfalls ist es möglich, dass die eingespritzte Kraftstoffwolke durch eine Ladungsbewegung zu der Zündkerze geführt und dann erst entzündet wird. Bei beiden Brennverfahren liegt keine gleichmäßige Kraftstoffverteilung in dem Brennraum vor, sondern eine Schichtladung.

**[0008]** Der Vorteil des Schichtbetriebs liegt darin, dass mit einer sehr geringen Kraftstoffmenge die anliegenden kleineren Lasten von der Brennkraftmaschine ausgeführt werden können. Größere Lasten können allerdings nicht durch den Schichtbetrieb erfüllt werden.

**[0009]** In dem für derartige große Lasten vorgesehenen Homogenbetrieb wird das Benzin während der Ansaugphase der Brennkraftmaschine eingespritzt, so dass eine Verwirbelung und damit eine Verteilung des Benzins in dem Brennraum noch vor der Zündung noch ohne Weiteres erfolgen kann. Insoweit entspricht der Homogenbetrieb in etwa der Betriebsweise von Brennkraftmaschinen, bei denen in herkömmlicher Weise Kraftstoff in das Ansaugrohr eingespritzt wird. Bei Bedarf kann auch bei kleineren Lasten der Homogenbetrieb eingesetzt werden.

**[0010]** Im Schichtbetrieb wird eine Drosselklappe in einem zu dem Brennraum führenden Ansaugrohr weit geöffnet und die Verbrennung wird im Wesentlichen nur durch die einzuspritzende Kraftstoffmasse gesteuert und/oder geregelt. Im Homogenbetrieb wird die Drosselklappe in Abhängigkeit von dem angeforderten Moment geöffnet bzw. geschlossen und die einzuspritzende Kraftstoffmasse wird in Abhängigkeit von der angesaugten Luftmasse gesteuert und/oder geregelt.

**[0011]** In beiden Betriebsarten, also im Schichtbetrieb und im Homogenbetrieb, wird die einzuspritzende Kraftstoffmasse zusätzlich in Abhängigkeit von einer Mehrzahl weiterer Betriebsgrößen auf einen im Hinblick auf Kraftstoffeinsparung, Abgasreduzierung, Lärmverminderung und dergleichen optimalen Wert gesteuert und/oder geregelt. Die Steuerung und/oder Regelung ist dabei in den beiden Betriebsarten unterschiedlich.

**[0012]** Bei strahlgeführten BDE-Brennverfahren im Schichtbetrieb ist es sinnvoll, unmittelbar vor einer Einspritzdüse, also an der Strahlwurzel, zu zünden. Das kann dadurch sicher erreicht werden, dass die Funkenstrecke einer Zündkerze im Bereich der Strahlwurzel angeordnet ist und der Zündfunke zu einem Zeitpunkt brennt, zu dem das geometrische Strahlende des eingespritzten Benzinstrahls die Funkenstrecke passiert. Da beim strahlgeführten BDE-Brennverfahren sehr spät eingespritzt wird, der Kolben sich also schon nahe des oberen Totpunktes befindet, ist die Dichte des in dem Brennraum befindlichen Benzin-Luft-Gemisches sehr hoch. Das hat einen hohen Zündspannungsbedarf, typischerweise etwa 25 kV bei einem Elektrodenabstand von 1 mm, zur Folge. Elektrodenabstände von deutlich mehr als 1 mm sind mit einer heute zur Verfügung ste-

henden Zündspannung von etwa 30 kV nicht realisierbar.

**[0013]** Es besteht jedoch insbesondere bei dem strahlgeführten BDE-Brennverfahren der Wunsch, Elektrodenabstände von deutlich mehr als 1 mm, z. B. von 5 mm oder mehr, realisieren zu können, um z. B. eine Vielzahl von Einzelstrahlen einer Mehrlochdüse gemeinsam oder um einmal quer durch die Strahlwurzel des Einspritzstahls zünden zu können. Derart große Elektrodenabstände würden zum Entzünden des Benzin-Luft-Gemisches jedoch Zündspannungen von deutlich mehr als 50 kV erfordern, die aus Gründen der Baugröße, des erforderlichen Isolationsaufwandes sowie der hohen Kosten nicht realisierbar sind.

**[0014]** Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, die sichere und zuverlässige Entzündung eines Benzin-Luft-Gemisches in einem Brennraum einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine bei einer relativ niedrigen Zündspannung mit einer Zündkerze mit einem deutlich erhöhten Elektrodenabstand zu ermöglichen.

**[0015]** Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ausgehend von dem Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vor, dass der Zündfunke vor dem Beginn der Einspritzung gezündet und eine Funkendauer bis über das Ende der Einspritzung hinaus anhält.

#### Vorteile der Erfindung

**[0016]** Erfindungsgemäß wird der Zündfunke zu einem so frühen Zeitpunkt gezündet, dass die an der Zündkerze anliegende Zündspannung trotz eines großen Elektrodenabstandes aufgrund der dann noch relativ niedrigen Dichte in dem Brennraum ausreicht. Zum Zeitpunkt der Zündung des Zündfunkens befindet sich der Kolben noch relativ weit von seinem oberen Totpunkt entfernt und das in dem Brennraum enthaltene Volumen ist noch nicht besonders stark komprimiert. Der Zündfunke wird dann bis über das Ende der danach erfolgenden Einspritzung hinaus brennen. Da die Brennspannung einer Zündkerze deutlich niedriger als die Zündspannung ist, reicht die an der Zündkerze anliegende herkömmliche Spannung von etwa 30 kV trotz des deutlich vergrößerten Elektrodenabstandes aus, um den Funken zu stärken und danach bei zunehmender Dichte brennen zu lassen.

**[0017]** Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass insbesondere bei einem strahlgeführten Brennverfahren im Schichtbetrieb der für eine erfolgreiche Entflammung des Benzin-Luft-Gemisches erforderliche "physikalische" Zeitbereich eng an das Ende der Einspritzung gekoppelt ist, da das Gemisch nur dann erfolgreich durchbrennen kann, wenn das Strahlende angezündet wird. Dies bedeutet, dass es lediglich wichtig ist, diesen "physikalischen" Zeitbereich von der Brenndauer des Zündfunkens abzudecken. Es ist jedoch ohne Bedeu-

tung, wenn der Zündfunke deutlich früher gezündet wird oder bis deutlich später brennt. Die thermodynamisch relevante zeitliche Lage des Schwerpunkts der Verbrennung ist also insbesondere abhängig von dem Beginn und der Dauer der Einspritzung.

**[0018]** Die für die Verbrennung des Benzin-Luft-Gemisches erforderliche Temperatur wird nicht innerhalb kürzester Zeit, durch einen kurzzeitig anliegenden Zündfunken aufgebracht. Vielmehr akkumuliert sich die erforderliche Zündenergie über einen längeren Zeitraum hinweg, nämlich von der Zündung des Zündfunkens vor dem Beginn der Einspritzung bis zum Erreichen des "physikalischen" Zeitbereichs im Anschluss an das Ende der Einspritzung.

**[0019]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Brennkraftmaschine in einem Schichtbetrieb betrieben wird. Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Brennkraftmaschine strahlgeführt betrieben wird. Zusätzliche Informationen zu dem strahlgeführten BDE-Brennverfahren können dem "Kraftfahrtechnischen Taschenbuch/Bosch" 22. Aufl., Springer-Verlag, 1998, S. 369 entnommen werden. Auf diese Veröffentlichung wird ausdrücklich Bezug genommen.

**[0020]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Funkendauer anhält, bis das geometrische Ende eines Einspritzstrahls die Zündstelle passiert hat. Gemäß dieser Weiterbildung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass das Benzin-Luft-Gemisch nur dann erfolgreich durchbrennen kann, wenn das Strahlende angezündet wird. Wann das Strahlende die Zündstelle passiert hat, kann bspw. mittels einer in den Brennraum ragenden Ionenstromsonde ermittelt werden. Weitere Informationen zu dem Ionenstrommessverfahren können dem "Kraftfahrtechnischen Taschenbuch/Bosch", aaO., S. 442 entnommen werden. Auf diese Veröffentlichung wird ausdrücklich Bezug genommen.

**[0021]** Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Form eines Speicherelements, das für ein Steuergerät einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs vorgesehen ist. Dabei ist auf dem Speicherelement ein Computerprogramm abgespeichert, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem Speicherelement abgespeichertes Computerprogramm realisiert, so dass dieses mit dem Computerprogramm versehene Speicherelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Computerprogramm geeignet ist. Als Speicherelement kann insbesondere ein elektrisches Speichermedium zur Anwendung kommen, bspw. ein Read-Only-Memory, ein Random-Access-Memory oder ein Flash-Memory.

**[0022]** Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm der eingangs genannten Art, das zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf dem Rechenggerät abläuft. Besonders bevorzugt ist dabei, wenn das Computerprogramm auf einem Speicherelement, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.

**[0023]** Als eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird ausgehend von dem Steuergerät für eine direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass das Steuergerät eine Zündung des Zündfunktens vor dem Beginn der Einspritzung und eine Funkdauer bis über das Ende der Einspritzung hinaus veranlasst.

**[0024]** Schließlich wird als noch eine weitere Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfindung ausgehend von der direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass die Zündanlage den Zündfunken vor dem Beginn der Einspritzung zündet und eine Funkdauer bis über das Ende der Einspritzung hinaus liefert.

#### Zeichnungen

**[0025]** Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung. Es zeigen:

Figur 1 eine erfindungsgemäße direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

Figur 2 ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

Figur 3 einen zeitlichen Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens aus Figur 2 in Abhängigkeit von einer Drehwinkelstellung °KW einer Kurbelwelle der Brennkraftmaschine; und

Figur 4 eine Düse eines Einspritzventils der Brennkraftmaschine aus Figur 1 und einen von dem Einspritzventil eingespritzten Einspritzstrahl.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

**[0026]** In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine 1 eines Kraft-

fahrzeugs dargestellt, bei der ein Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, der unter anderem durch den Kolben 2, ein Einlassventil 5 und ein Auslassventil 6 begrenzt ist. Mit dem Einlassventil 5 ist ein Ansaugrohr 7 und mit dem Auslassventil ein Abgasrohr 8 gekoppelt.

**[0027]** Im Bereich des Einlassventils 5 und des Auslassventils 6 ragen ein Einspritzventil 9 und eine Zündkerze 10 in den Brennraum 4. Über das Einspritzventil 9 kann Benzin in den Brennraum 4 eingespritzt werden. Mit der Zündkerze 10 kann das Benzin-Luft-Gemisch in dem Brennraum 4 entzündet werden.

**[0028]** In dem Ansaugrohr 7 ist eine drehbare Drosselklappe 11 untergebracht, über die dem Ansaugrohr 7 Luft zuführbar ist. Die Menge der zugeführten Luft ist abhängig von der Winkelstellung der Drosselklappe 11. In dem Abgasrohr 8 ist ein Katalysator 12 untergebracht, der der Reinigung der durch die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches entstehenden Abgase dient.

**[0029]** Der Kolben 2 wird durch die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches 4 in eine Hin- und Herbewegung versetzt, die auf eine nicht dargestellte Kurbelwelle übertragen wird und auf diese ein Drehmoment ausübt.

**[0030]** Ein Steuergerät 18 zur Steuerung und/oder Regelung der direkteinspritzenden Brennkraftmaschine 1 ist von Eingangssignalen 19 beaufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 darstellen. Bspw. ist das Steuergerät 18 mit einem Luftmassensensor, einem Lambda-Sensor, einem Drehzahlsensor und dergleichen verbunden. Des Weiteren ist das Steuergerät 18 mit einem Fahrpedalsensor verbunden, der ein Signal erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals und damit das angeforderte Drehmoment angibt. Das Steuergerät 18 erzeugt Ausgangssignale 20, mit denen über Aktoren bzw. Steller das Verhalten der Brennkraftmaschine 1 beeinflusst werden kann. Bspw. ist das Steuergerät 18 mit dem Einspritzventil 9 (Steuersignal EW), der Zündkerze 10 (Steuersignal ZV), der Drosselklappe 11 und dergleichen verbunden und erzeugt die zu deren Ansteuerung erforderlichen Signale.

**[0031]** Unter anderem ist das Steuergerät 18 dazu vorgesehen, die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 zu steuern und/oder zu regeln. Bspw. wird die von dem Einspritzventil 9 in den Brennraum 4 eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Steuergerät 18 insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch, eine geringe Schadstoffentwicklung und/oder eine geringe Lärmverursachung gesteuert und/oder geregelt. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 18 mit einem Mikroprozessor 21 versehen, der in einem Flash-Memory 22 ein Computerprogramm abgespeichert hat, das dazu geeignet ist, die genannte Steuerung und/oder Regelung durchzuführen und das nachfolgend im Detail erläuterte erfindungsgemäße Verfahren auszuführen.

**[0032]** Die Brennkraftmaschine 1 aus Fig. 1 kann in

einer Vielzahl unterschiedlicher Betriebsarten betrieben werden. So ist es möglich, die Brennkraftmaschine 1 in einem Homogenbetrieb, einem Schichtbetrieb, einem homogenen Magerbetrieb oder dergl. zu betreiben. Im Homogenbetrieb wird der Kraftstoff während der Ansaugphase von dem Einspritzventil 9 direkt in den Brennraum 4 der Brennkraftmaschine 1 eingespritzt. Der Kraftstoff wird dadurch bis zur Zündung noch weitgehend verwirbelt, so dass im Brennraum 4 ein im Wesentlichen homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch entsteht. Das zu erzeugende Moment wird dabei im Wesentlichen über die Stellung der Drosselklappe 11 von dem Steuergerät 18 eingestellt. Im Homogenbetrieb werden die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1 derart gesteuert und/oder geregelt, dass  $\lambda = 1$  ist. Der Homogenbetrieb wird insbesondere bei Volllast angewendet.

**[0033]** Der homogene Magerbetrieb entspricht weitgehend dem Homogenbetrieb, es wird jedoch das  $\lambda$  auf einen Wert größer 1 eingestellt.

**[0034]** Im Schichtbetrieb wird der Kraftstoff während der Verdichtungsphase von dem Einspritzventil 9 direkt in den Brennraum 4 der Brennkraftmaschine 1 eingespritzt. Damit ist bei der Zündung durch die Zündkerze 10 kein homogenes Gemisch im Brennraum 4 vorhanden, sondern eine Kraftstoffschichtung. Die Drosselklappe 11 kann, abgesehen von Anforderungen z. B. einer Abgasrückführung und/oder einer Tankentlüftung vollständig geöffnet und die Brennkraftmaschine 1 damit entdrosselt betrieben werden. Das zu erzeugende Moment wird im Schichtbetrieb weitgehend über die Kraftstoffmasse eingestellt. Mit dem Schichtbetrieb kann die Brennkraftmaschine 1 insbesondere im Leerlauf und bei Teillast betrieben werden.

**[0035]** Zwischen den genannten Betriebsarten der Brennkraftmaschine 1 kann hin- und her- bzw. umgeschaltet werden. Derartige Umschaltungen werden von dem Steuergerät 18 durchgeführt.

**[0036]** An der Oberseite des Kolbens 2 ist eine Brennraummulde 23 vorgesehen. Das Einspritzventil 9 ist zentrisch zu der Brennraummulde 23 angeordnet und weist eine 6- bis 8-Loch-Düse auf. Durch die Brennraummulde 23 und das besonders ausgebildete Einspritzventil 9 kann ein strahlgeführtes Brennverfahren realisiert werden. Die Brennkraftmaschine 1 wird im Schichtbetrieb betrieben. Das Benzin-Luft-Gemisch wird unmittelbar vor dem Austritt des Einspritzventils 9, also an der Strahlwurzel, gezündet. Die Zündkerze 10 weist Elektroden auf, zwischen denen sich nach Zündung der Zündkerze 10 eine Funkenstrecke ausbildet. Der Elektrodenabstand beträgt einige Millimeter, und liegt somit deutlich oberhalb dem üblichen Elektrodenabstand von etwa 1 mm. Der relativ große Elektrodenabstand hat den Vorteil, dass bei einem Einspritzventil 9 mit einer Mehrlochdüse viele Einzelstrahlen gemeinsam gezündet werden können oder dass quer durch die Strahlwurzel eines Benzin-Einspritzstrahls 51 (vgl. Figur 4) gezündet werden kann. In Fig. 4 ist eine Einspritz-

düse 52 des Einspritzventils 9 und der in den Brennraum 4 eingespritzte Benzin-Einspritzstrahl 51 mit seinem geometrischen Strahlende 50 dargestellt. Die Funkenstrecke ist im Bereich der Strahlwurzel angeordnet. Die Zündkerze 10 wird von dem Steuergerät 18 derart angesteuert, dass ein Zündfunke vor Beginn der Benzin-Einspritzung gezündet wird und die Funkenstrecke zumindest so lange brennt, bis das geometrische Strahlende 50 (vgl. Figur 4) des Einspritzstrahls 51 die Funkenstrecke passiert hat.

**[0037]** Da früh, d.h. bei niedriger Dichte gezündet wird, reicht trotz des relativ großen Elektrodenabstands eine herkömmliche Zündspannung von etwa 25 - 30 kV aus. Die Entflammung wird gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch erreicht, dass der von der Zündkerze 10 erzeugte Funke über einen relativ langen Zeitraum in dem Brennraum 4 brennt. Dieser Zeitraum beginnt vor dem Beginn der Einspritzung und endet erst nach dem Ende der Einspritzung. Für die Erzeugung der für die Entflammung des Benzin-Luft-Gemisches erforderlichen Temperatur steht also ein relativ langer Zeitraum zur Verfügung. Durch das Einspritzen des Benzins in den Brennraum 4 wird dann die Verbrennung ausgelöst.

**[0038]** In Fig. 3 ist der zeitliche Ablauf des Verfahrens aus Fig. 2 dargestellt. Mit 40 ist der Einspritzverlauf, mit 42 der Zündverlauf und mit 43 eine Drehwinkelstellung  $^\circ$ KW der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine 1 bezeichnet. Die Brenndauer des Zündfunkens ist mit 44 und die Einspritzdauer mit 45 bezeichnet. Bei einem strahlgeführten Brennverfahren im Schichtbetrieb ist entscheidend für eine erfolgreiche Entflammung des Benzin-Luft-Gemisches ein sog. "physikalischer" Zeitbereich  $t_{phy}$ , der eng an das Ende 41 der Einspritzung 45 gekoppelt ist. Das Benzin-Luft-Gemisch kann nur dann erfolgreich durchbrennen, wenn das geometrische Strahlende 50 (vgl. Fig. 4) angezündet wird. Das bedeutet, dass insbesondere der "physikalische" Zeitbereich  $t_{phy}$  von der Brenndauer 44 der Funkenstrecke abgedeckt sein muss, was bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auch der Fall ist. Einen relativ geringen Einfluss auf die Verbrennung des Benzin-Luft-Gemisches hat der Anfang und das Ende der Brenndauer 44, d. h. ob der Zündfunke deutlich früher als der physikalische Zeitbereich  $t_{phy}$  gezündet wird oder die Funkenstrecke bis deutlich später brennt. Die relativ lange Brenndauer 44 wirkt sich jedoch vorteilhaft auf die Zündspannung für die Zündkerze 10 aus. Statt einer relativ hohen Zündspannung von bspw. 50 kV oder mehr, die nur kurzzeitig an der Zündkerze 10 anliegt, reicht eine wesentlich niedrigere Spannung von bspw. 25 bis 30 kV aus, um den Funken zu entzünden. Die niedrigere Brennschpannung von typisch  $< 2$  KV liegt dafür aber für einen längeren Zeitraum an der Zündkerze 10.

**[0039]** Für die vorliegende Erfindung sind Zündanlagen besonders vorteilhaft, bei denen die Brenndauer 44 des Zündfunkens bzw. der Funkenstrecke steuerbar ist. Solche Zündanlagen sind bspw. Pulszugzündungen, Pulszugzündungen mit Energieübertrag in der Lade-

phase, Wechselstromzündungen oder HF-Zündungen.

[0040] In Fig. 2 ist ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Das Verfahren beginnt in einem Funktionsblock 30. In einem Funktionsblock 31 wird ein Zündfunke von der Zündkerze 10 gezündet und am Brennen gehalten. In einem Funktionsblock 32 wird Benzin in den Brennraum 4 der Brennkraftmaschine 1 eingespritzt. Der Funktionsblock 32 umfasst die gesamte Benzineinspritzung, vom Anfang bis zum Ende. Nach dem Ende der Einspritzung 45 wird in einem Funktionsblock 33 die Brenndauer 44 der Funkenstrecke beendet. Vorzugsweise wird abgewartet, bis ein geometrisches Ende 50 des Einspritzstrahls 51 (vgl. Fig. 4) die Zündstelle passiert hat. In einem Funktionsblock 34 wird das erfindungsgemäße Verfahren dann beendet.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Benzin in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) direkt eingespritzt und ein Zündfunke in dem Brennraum (4) gezündet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zündfunke vor dem Beginn der Einspritzung (45) gezündet und die Funkendauer (44) bis über das Ende der Einspritzung (45) hinaus anhält.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine (1) in einem Schichtbetrieb betrieben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkraftmaschine (1) strahlgeführt betrieben wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Funkendauer (44) anhält, bis das geometrische Ende (50) eines Einspritzstrahls (51) die Zündstelle passiert hat.
5. Speicherelement (22), insbesondere Read-Only-Memory, Random-Access-Memory oder Flash-Memory, für ein Steuergerät (18) einer direkteinspritzenden Benzin-Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, auf dem ein Computerprogramm abgespeichert ist, das auf einem Rechnergerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor (21), ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, geeignet ist.
6. Computerprogramm, das auf einem Rechnergerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor (21), ablauffähig ist; **dadurch gekennzeichnet, dass** das Computerprogramm zur Ausführung eines Verfahrens

nach einem der Ansprüche 1 bis 4 geeignet ist, wenn es auf dem Rechnergerät abläuft.

7. Computerprogramm nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Computerprogramm auf einem Speicherelement (22), insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.
8. Steuergerät (18) für eine direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs zur Steuerung und/oder Regelung der Einspritzung von Benzin in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) und der Zündung eines Zündfunkens in dem Brennraum (4), **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuergerät (18) eine Zündung des Zündfunken vor dem Beginn der Einspritzung (45) und eine Funkendauer (44) bis über das Ende der Einspritzung (45) hinaus veranlasst.
9. Direkteinspritzende Benzin-Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, wobei die Brennkraftmaschine (1) ein Kraftstoffeinspritzsystem zum direkten Einspritzen von Benzin in einen Brennraum (4) der Brennkraftmaschine (1) und eine Zündanlage zum Zünden eines Zündfunken in dem Brennraum (4) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündanlage den Zündfunken vor dem Beginn der Einspritzung (45) zündet und eine Funkendauer bis über das Ende der Einspritzung (45) hinaus liefert.

### Claims

1. Method for operating a direct-injection petrol internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, in which petrol is injected directly into a combustion chamber (4) of the internal combustion engine (1) and an ignition spark is ignited in the combustion chamber (4), **characterized in that** the ignition spark is ignited before the injection (45) begins, and the spark duration (44) lasts beyond the end of the injection (45).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the internal combustion engine (1) is operated in a stratified mode.
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the internal combustion engine (1) is operated in jet-controlled mode.
4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the spark duration (44) lasts until the geometric end (50) of an injection jet (51) has passed the ignition location.
5. Memory element (22), in particular read only mem-

ory, random access memory or flash memory, for a control unit (18) of a direct-injection petrol internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, on which a computer program is stored, which can run on a computer unit, in particular on a microprocessor (21), and is suitable for carrying out a method according to one of Claims 1 to 4.

6. Computer program which can run on a computer unit, in particular on a microprocessor (21), **characterized in that** the computer program is suitable for carrying out a method according to one of Claims 1 to 4 when it runs on the computer unit.

7. Computer program according to Claim 6, **characterized in that** the computer program is stored on a memory element (22), in particular on a flash memory.

8. Control unit (18) for a direct-injection petrol internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, for controlling and/or regulating the injection of petrol into a combustion chamber (4) of the internal combustion engine (1) and igniting an ignition spark in the combustion chamber (4), **characterized in that** the control unit (18) causes the ignition spark to be ignited before the injection (45) begins and causes the spark duration (44) to last beyond the end of the injection (45).

9. Direct-injection petrol internal combustion engine (1), in particular of a motor vehicle, the internal combustion engine (1) having a fuel injection system for the direct injection of petrol into a combustion chamber (4) of the internal combustion engine (1) and an ignition system for igniting an ignition spark in the combustion chamber (4), **characterized in that** the ignition system ignites the ignition spark before the injection (45) begins and provides a spark duration which lasts beyond the end of the injection (45).

## Revendications

1. Procédé de gestion d'un moteur à combustion interne (1) à essence à injection directe, notamment pour un véhicule automobile selon lequel l'essence est injectée directement dans la chambre de combustion (4) du moteur à combustion interne (1) et on déclenche une étincelle d'allumage dans la chambre de combustion (4),  
**caractérisé en ce qu'**  
on déclenche l'étincelle d'allumage avant le début de l'injection (45) et on maintient la durée de l'étincelle (44) au delà de la fin de l'injection (45).

2. Procédé selon la revendication 1,  
**caractérisé en ce que**

le moteur à combustion interne (1) fonctionne en mode stratifié.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,  
**caractérisé en ce que**

le moteur à combustion interne (1) travaille en mode de jet.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3,  
**caractérisé en ce que**

la durée de l'étincelle (44) est maintenue jusqu'à ce que la fin géométrique (50) d'un jet d'injection (51) passe le point d'allumage.

5. Élément de mémoire (22) notamment mémoire morte, mémoire vive ou mémoire flash pour un appareil de commande (18) d'un moteur à combustion interne (1) à injection directe d'essence, équipant notamment un véhicule automobile, dans lequel est enregistré un programme d'ordinateur exécutable par un appareil de calcul, notamment un micro processeur (21), pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 4.

6. Programme d'ordinateur exécutable sur un calculateur notamment un micro processeur (21),  
**caractérisé en ce que**

le programme d'ordinateur est prévu pour exécuter un procédé selon l'une des revendications 1 à 4, sur un appareil de calcul.

7. Programme d'ordinateur selon la revendication 6,  
**caractérisé en ce qu'**

il est enregistré dans un élément de mémoire (22) notamment une mémoire flash.

8. Appareil de commande (18) d'un moteur à combustion interne (1) à injection directe d'essence, notamment d'un véhicule automobile, pour commander et/ou réguler l'injection de l'essence dans la chambre de combustion (4) du moteur à combustion interne (1) et l'allumage d'une étincelle d'allumage dans la chambre de combustion (4),  
**caractérisé en ce que**

l'appareil de commande (18) produit l'allumage de l'étincelle d'allumage avant le début de l'injection (45) et maintient la durée de l'étincelle (44) au delà de la fin de l'injection (45).

9. Moteur à combustion interne (1) à injection directe d'essence, notamment d'un véhicule automobile, le moteur à combustion interne (1) ayant un système d'injection de carburant pour l'injection directe d'essence dans la chambre de combustion (4) du moteur à combustion interne (1) et une installation d'allumage pour allumer l'étincelle d'allumage dans la chambre de combustion (4),  
**caractérisé en ce que**

l'installation d'allumage allume l'étincelle d'allumage avant le début de l'injection (45) et maintient la durée de l'étincelle au delà de la fin de l'injection (45).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



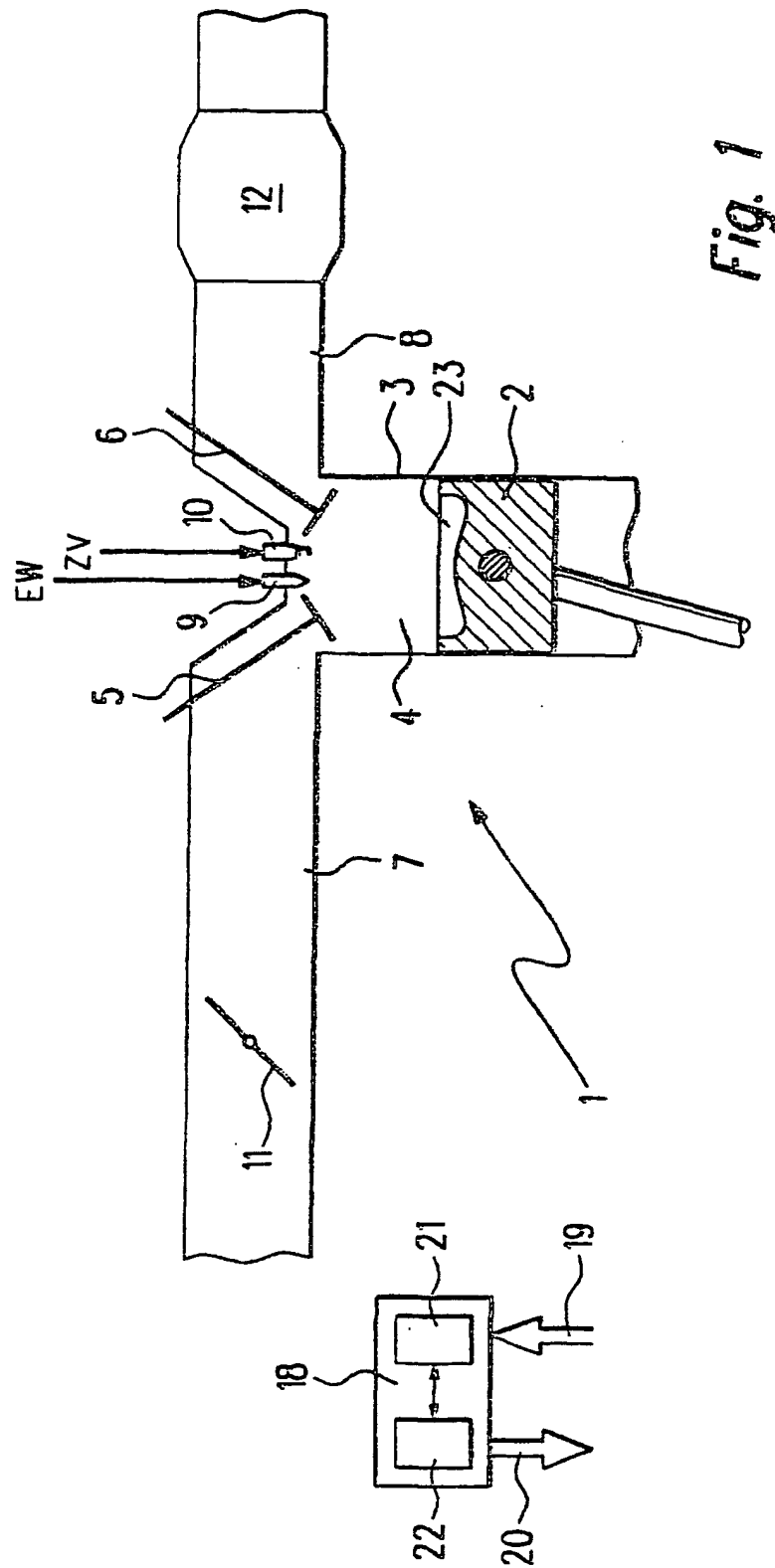


Fig. 1

Fig. 2

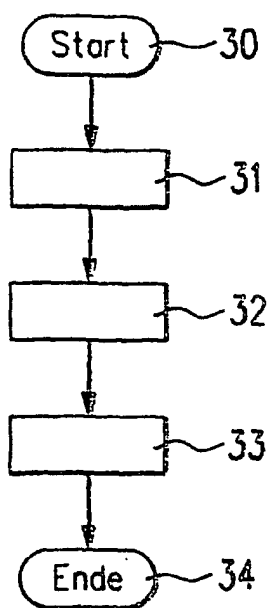


Fig. 3

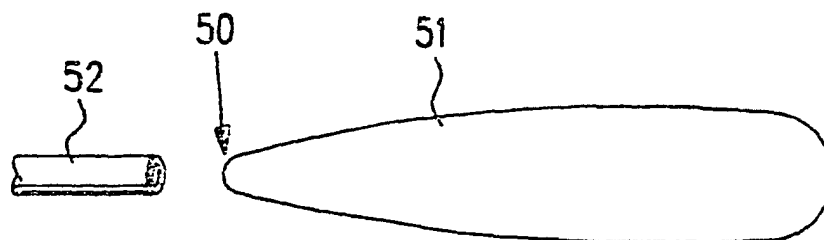
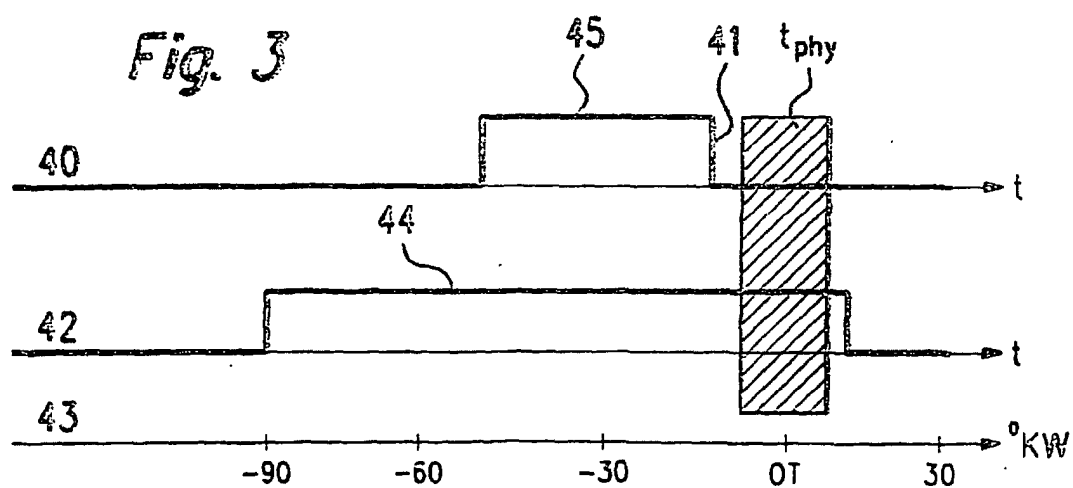


Fig. 4