

(19)



(11)

EP 3 064 765 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.09.2016 Patentblatt 2016/36

(51) Int Cl.:
F02P 23/04^(2006.01) H01P 5/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15157315.1**

(22) Anmeldetag: **03.03.2015**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(72) Erfinder: **Die Erfindernennung liegt noch nicht vor**

(74) Vertreter: **Klocke, Peter**
ABACUS
Patentanwälte
Lise-Meitner-Strasse 21
72202 Nagold (DE)

(71) Anmelder: **MWI Micro Wave Ignition AG**
72186 Empfingen (DE)

Bemerkungen:

Die Patentansprüche wurden nach dem Anmeldetag eingereicht (R. 68(4) EPÜ).

(54) **Verbrennungsmotor**

(57) Verbrennungsmotor mit wenigstens in einem Zylinder mit darin bewegbaren Kolben in einem Motorblock bei dem die Mikrowellen über ein Mikrowellenfenster in einen Brennraum gelangen, der durch den Kolbenboden und den Zylinderkopf gebildet wird, wobei der Brennraum wenigstens bereichsweise eine als Mikrowellenfenster wirkenden Brennraumwand aufweist, die durch eine Wandschicht aus einem keramischen Material besteht, in der mindestens ein umlaufender Hohlleiterringraum mit mindestens einer Eintrittsöffnung für die Mikrowelle angeordnet ist, und die mindestens eine Aus-

trittsöffnung für die in dem Hohlleiterringraum der Wandschicht geführten Mikrowelle aufweist. Der Verbrennungsmotor erlaubt eine genaue Steuerung des Beginns einer Raumzündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches in einem Brennraum, so dass eine optimale schadstoffarme Verbrennung des Kraftstoffes mit einem gegenüber herkömmlichen Hubkolben-Verbrennungsmotoren erhöhten Wirkungsgrad erreicht wird. Generell ermöglicht die Erfindung die sichere Zündung von mageren Kraftstoff-Luft-Gemische.

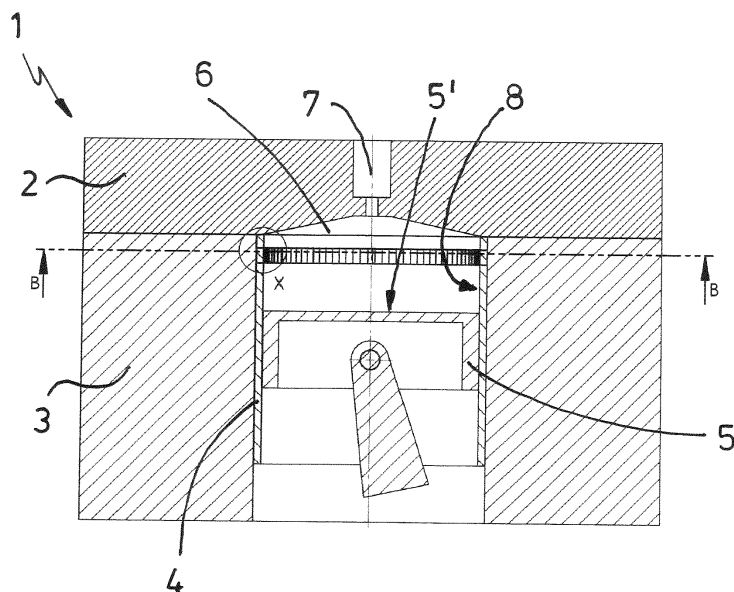


Fig. B

EP 3 064 765 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Verbrennungsmotor mit wenigstens in einem Zylinder mit darin bewegbaren Kolben in einem Motorblock bei dem die Mikrowellen über ein Mikrowellenfenster in einen Brennraum gelangen, der durch den Kolbenboden und einen Zylinderkopf gebildet wird.

[0002] Aus der DE 103 56 916 A1 ist bekannt, in einem Brennraum mittels Mikrowellenenergie einer Raumzündung in einem Verbrennungsmotor zu erzeugen, um damit die Verbrennung des über ein Kraftstoff-Luft-Gemisches eingebrachten Kraftstoffs besser zu zünden und zu verbrennen.

[0003] Bei herkömmlichen Motoren wird ein zündfähiges Gemisch in einem kegelförmigen Zylinderkopf komprimiert und durch eine Zündkerze zur Reaktion/Oxidation gebracht. Dabei breitet sich die chemische Oxidation kugelförmig von dem Ort der Zündung in Form einer Druck- und Reaktionsfront (Laminare Brenngangsphase) aus. Die Druckfront bewegt sich schneller als die Reaktionsfront und erreicht deshalb als erste den Zylinderwand. An diesem wird sie reflektiert und läuft der Reaktionsfront entgegen. Treffen sich beide Fronten, kann die Reaktion zum Erliegen kommen, was Wirkungsgradverluste und Schadstoffe zur Folge hat. Abhilfe schafft das Ersetzen der lokalen Zündung durch eine Raumzündung mittels Mikrowellen. Vor dem Zünden soll das Gemisch möglichst homogen über das gesamte Volumen angeregt werden, was eine über den Brennraum verteilte Absorption erfordert. Dabei spielt die Absorptionsfähigkeit von Mikrowellen, beschrieben durch einen Materialparameter $\tan\delta(t)$ und die damit verbundene Eindringtiefe eine wesentliche Rolle.

[0004] Bei der Kompression erfolgt bereits eine druck- und temperaturabhängige Ionisation des Zündgemisches. Auf Grund dieser Ionisierung bestimmter Treibstoffmoleküle ist grundsätzlich von Absorptionsraten der Mikrowellen durch das zündfähige Gemisch im Brennraum auszugehen, die sich jedoch während des Kompressionsvorgangs zeitlich ändern dürfte.

[0005] Da die beschriebene Homogenität in der Praxis niemals vollständig erreicht werden kann, soll die Reaktionsfront von außen nach innen laufen. Es ist demnach eine Mikrowelleneinspeisung zu finden, die im kreiszylindrischen Brennraum eine Feldverteilung generiert, die längs des gesamten Umfangs homogen und längs des Radius möglichst homogen oder bevorzugt monoton bei größeren Radien zunimmt. Die Homogenität der Feldverteilung soll vom Absorptionsverhalten des Gemisches so schwach wie möglich abhängig sein.

[0006] Der Erfindung liegt folglich die Aufgabe zu Grunde, eine möglichst homogene, Zündverteilung im gesamten Brennraum zu erreichen bzw. lokale Zündkeime mindestens am Randbereich des Brennraums zu erzeugen.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Verbrennungsmotor nach Anspruch 1 gelöst. Weiter

vorteilhafte Ausgestaltungen sind den rückbezogenen Unteransprüchen zu entnehmen.

[0008] Bei dem Verbrennungsmotor werden die Mikrowellen um den Umfang des Brennraumes geführt und radial über mindestens einen Bereich einer als Mikrowellenfenster wirkende Verbrennungswand in den Brennraum eingekoppelt. Hierzu kann mindestens ein Teil der Brennraumwand beispielsweise des Zylinders aus einem geeigneten Material hergestellt sein, das die Funktion des Mikrowellenfensters für die Einkopplung der Mikrowellen übernimmt aber gleichzeitig aufgrund seiner Festigkeit und Temperaturstabilität für den Brennraum geeignet ist. Das kann beispielsweise ein keramisches Material vorzugsweise mit einer Reinheit $>99\%$ sein. Die Mikrowellen können dabei in nur einer Ebene oder auch in verschiedenen Ebenen gegenläufig oder gleichlaufend um den Brennraum geführt und in diesen über die Brennraumwand eingekoppelt werden.

[0009] Die Mikrowellen werden über mindestens einen am Umfang des Brennraumes angeordneten Hohlleiterringraum mit mindestens einer zu dem Brennraum gerichteten Austrittsöffnung in den Brennraum eingeleitet. Die Mikrowellen werden dazu in einem für die optimalen Wellenleitung unter Vermeidung von Modensprüngen und Reflektionen in einem Hohlleiterringraum geführt, dessen Querschnitt rechteckig mit der speziellen Variante quadratisch, rund oder oval ausgebildet werden kann. Vorzugsweise ist der Querschnitt quadratisch, um Überschlage im Hohlleiterringraum zu vermeiden. Die Mikrowellen können am Ende des Hohlleiterringraumes unter einem Winkel in den Brennraum geleitet werden, um Reflektionen der bereits um den Brennraum gelaufenen Mikrowellen am Ende des Hohlleiterringraums zurück zu einer Mikrowellenquelle zu vermeiden oder zumindest weitgehend abzuschwächen. Die Mikrowellen werden mit einer Frequenz von 25 GHz bis 90 GHz, vorzugsweise 36 GHz, eingeleitet, da es sich gezeigt hat, dass bei diesen Frequenzen die gewünschte Raumzündung in dem Brennraum erfolgt. Auch können die Mikrowellen in Impulspaketen eingeleitet werden, wobei vorzugsweise die Impulspakete auch nach einer bereits erfolgten Zündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches aufrechterhalten werden. Damit wird die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches optimiert und auch bereits erfolgter Zündung und sich möglicherweise schon vergrößern dem Brennraum weiter die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches angeregt.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor weist der Brennraum wenigstens bereichsweise eine als Mikrowellenfenster wirkende Brennraumwand auf, die durch eine Wandschicht aus einem vorzugsweise keramischen Material oder einem anderen festen für Mikrowellen durchlässigen Werkstoff gebildet ist, in der mindestens ein umlaufender Hohlleiterringraum mit mindestens einer Eintrittsöffnung für die Mikrowelle angeordnet ist, und die mindestens eine Austrittsöffnung für die in dem Hohlleiterringraum der Wandschicht geführten Mikrowelle aufweist. Der Hohlleiterringraum wird bei

der Herstellung der Wandschicht, die zweckmäßigerweise die Form einer Hülse aufweist, gebildet und weit zwangsläufig metallische Wände auf. Dazu kann entweder ein vorgefertigter metallischer Hohlleiterringraum mit entsprechender Eintrittsöffnung und mindestens einer Austrittsöffnung verwendet werden oder der Hohlleiterringraum durch Einlegen und Aufbringen von metallischen Flächen in und auf der Wandschicht gestaltet werden. Bei der letzteren Ausgestaltung ist der Hohlleiterringraum - entgegen seine Bezeichnung - nicht hohl, also als Freiraum ausgebildet, sondern zwischen den metallischen Wänden befindet sich das Material der keramischen Wandschicht als Dielektrikum. Dennoch wirkt der Hohlleiterringraum bezogen auf die darin geführten Mikrowellen als Hohlleiter.

[0011] Vorzugsweise ist der Hohlleiterringraum in radialer und axialer Richtung der Wandschicht durch metallische Flächen gebildet wird, wobei die dem Brennraum zugewandte Fläche mindestens eine Öffnung für den Austritt und die dem Motorblock zugewandte Fläche eine Öffnung für den Eintritt von Mikrowellen aufweist. Die metallischen Flächen können durch metallische eingelegte Streifen oder auch, zumindest an den radialen Wänden der Wandschicht, durch außen aufgebrachte metallische Beschichtungen gebildet sein. Auf der Motorblockseite kann auch der metallische Motorblock die metallische Fläche übernehmen. Zweckmäßigerweise wird der Hohlleiterringraum mindestens in axialer Richtung der Wandschicht durch metallische Streifen begrenzt. Dadurch kann bei der Herstellung der Wandschicht aus beispielsweise keramischen Material in der Rohform vor dem Brennen der Hohlleiterringraum zumindest in axialer Richtung vorbereitet werden. In radialer Richtung können metallische Streifen eingelegt oder nachträglich mindestens auf die Brennraumwand als metallische Schicht aufgebracht werden.

[0012] Gemäß einer Ausbildung der Erfindung wird vorteilhafterweise der Hohlleiterringraum in radialer Richtung der Wandschicht wenigstens teilweise durch eine auf die jeweilige Wand (Brennraumwand bzw. radiale Außenwand), mindestens jedoch die Brennraumwand, aufgebrachte, eingebrachte oder dotierte metallische Schicht begrenzt. Hierzu wird eine dünne metallische Schicht (mindestens 3 µm) auf die Brennraumwand aufgebracht, um zu verhindern, dass die Mikrowellen an unerwünschten Stellen in den Brennraum gelangen bzw. wahlweise um den Hohlleiterringraum nach außen abzugrenzen. Dort, wo Austrittsöffnungen für die Mikrowellen gewünscht sind, wird die metallische Schicht auf der Brennraumwand und dort, wo eine Eintrittsöffnung gewünscht ist, wird die Schicht auf der radialen Außenwand weggeätzt.

[0013] Vorteilhafterweise ist zur Vermeidung der Reflexionen am Ende des Hohlleiterringraumes eine unter einem Winkel zu dem Hohlleiterringraum angeordnete Wand und eine Austrittsöffnung in Richtung Brennraumwand angeordnet. Dabei kann vorzugsweise die unter einem Winkel angeordnete Wand metallisch ausgebildet

sein und vorzugsweise gleichzeitig mit der anderen Seite an die Eintrittsöffnung angrenzen.

[0014] Der Verbrennungsmotor kann zwischen Hohlleiterringraum und Brennraumwand einen umlaufenden Spalt, einen zwischen Hohlleiterringraum und Brennraumwand umlaufenden, sich mit der Länge des Weges der Mikrowelle im Hohlleiterringraum vergrößernden Spalt oder, besonders bevorzugt eine Vielzahl von senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Mikrowelle zwischen Hohlleiterringraum und Brennraumwand angeordnete Spalte, oder einer Kombination daraus aufweisen. Diese Maßnahmen dienen dazu, Mikrowellenenergie in ausreichender Menge an möglichst vielen Stellen in dem Brennraum zukonzentrieren, um dort durch eine Vielzahl von Zündkeimen eine Raumzündung in dem Brennraum zu erzeugen. Grundsätzlich können die Spalte vorzugsweise sich mit der Länge des Weges der Mikrowelle im Hohlleiterringraum verändern.

[0015] Grundsätzlich kann auch ein weiterer, vorzugsweise identischer, Hohlleiterringraum im Anschluss an den anderen Hohlleiterringraum vorgesehen sein, der beispielsweise mit den Austrittsöffnungen gegenüber den Austrittsöffnungen des anderen Hohlleiterringraumes versetzt angeordnet ist und der eine entgegengesetzt angeordnete Zuführung aufweist. Auch können in dem Brennraum, insbesondere im Zylinderkopf noch zusätzlich Spitzen zur lokalen Feldüberhöhung und Erzeugung von Zündkeimen vorgesehen sein. Sofern erforderlich kann auch mindestens eine zusätzliche Mikrowellenzündkerze gemäß der parallelen Anmeldung EP 15157298.9 in dem Zylinderkopf angeordnet sein.

[0016] Der mathematischen Beschreibung der Einkopplung liegt ein Zylinderkoordinatensystem r, φ, z zu Grunde. In einem kreiszylindrischen elektrisch leitfähig abgegrenzten Raum gehorcht die Verteilung der elektromagnetischen Wellen längs des Umfangs Sinus- bzw. Cosinusfunktionen und längs des Radius Zylinderfunktionen, auch Besselfunktionen genannt. Je nach Orientierung der Feldlinien werden die zugehörigen Eigenmoden $T E_{mn}$ bzw. $T M_{mn}$ Moden genannt. Dabei entspricht der erste Index m der Anzahl der azimuthalen, der zweite Index n der Anzahl der radialen Maxima. Moden mit hohem azimuthalem und niedrigem radialem Index werden Whispering Gallery Moden (WGM) genannt. Ihre Leistung oszilliert im Wesentlichen am Rand des Hohlzylinders. Mit steigendem radialem Index verlagert sich die oszillierende Leistung ins Innere des Brennraums.

[0017] Die Überlagerung zweier um $\pi/(2m)$ azimuthal und zeitlich versetzter sonst gleicher Moden führt zu einer rotierenden Mode. Diese sind in der Literatur durchaus bekannt. Mathematisch drückt man eine azimuthal stehende Mode durch zwei gegeneinander rotierende Moden aus durch die Gleichung:

$$2 \cos m\varphi e^{-i\omega t} = (e^{im\varphi} + e^{-im\varphi}) e^{-i\omega t}$$

[0018] Für den Fall $m = 0$ hat man eine azimuthal konstante Verteilung.

[0019] Ähnliches gilt in radialer Richtung: Die radial stehende Wellen beschreibende Besselfunktion kann in ein- und auswärts propagierende Hankelfunktionen zerlegt werden:

$$2J_m(k_r r) = H_{m2}(k_r r) + H_{m1}(k_r r)$$

wobei k_r die radial Wellenzahl ist. Eine Feldverteilung proportional zu

$$e^{im\varphi} * H_{m2}(k_r r)$$

beschreibt eine Mode deren Leistung spiralförmig nach innen propagiert. Die zugehörigen Phasenfronten werden dabei mit sinkendem Radius immer steiler.

[0020] Erfindungsgemäß wird eine längs des Umfangs möglichst homogene Zündung, wahlweise im Außenbereich des Zylinders, oder im ganzen Volumen dadurch erreicht, dass entweder gezielt eine rotierende Whispering Gallery Mode oder eine Volumenmode im Brennraum angeregt wird. Dazu wird ein Speisewellenleiter, vorzugsweise Rechteckwellenleiter, in Form des Hohlleiterringraumes um den Brennraum gewunden. Aus der Theorie ist bekannt, dass die Hohlleiterwellenlänge seiner Moden durch die transversalen geometrischen Abmessungen verändert werden kann. Der Speisewellenleiter und der zylindrische Brennraum werden daher in einer Ausführungsform durch periodische Öffnungen über die als Mikrowellenfenster wirkenden Brennraumwand miteinander verbunden, wodurch Leistung vom Wellenleiter in den Brennraum gekoppelt wird. Wird nun die Periode p der Öffnungen so gewählt, dass

$$p = \frac{2 * \pi}{k_l}$$

wobei k_l die axiale Wellenzahl der Mode im gewundenen Wellenleiter ist, so wird gezielt eine TE_{0n} Mode im Brennraum angeregt. Diese hätte im Idealfall kreisförmig nach innen laufende Phasenfronten mit konstanter Amplitude. Die eingespeiste Leistung erreicht auf direktem Weg die gegenüber liegende Wand und kann dort bereits in den gewundenen Speisewellenleiter zurück gekoppelt werden. Die zurückgelegte Weglänge im Brennraum entspricht somit dessen Durchmesser. Bei schlechter Absorption des Zündgemischs wird ein beachtlicher Teil der Leistung in den Speisewellenleiter zurück gekoppelt und zur Mikrowellenquelle reflektiert.

[0021] Aus diesem Grund wird erfindungsgemäß alternativ eine leicht abweichende Periode der Öffnungen gewählt. Dadurch werden die Phasenfronten geneigt. Die

Leistung propagiert spiralförmig in den Brennraum, was eine hohe Weglänge und damit eine von $\tan\delta$ weitgehend unabhängige Absorption der Mikrowellenleistung ermöglicht. Die Breite der Öffnungen wird so variiert, dass die in den Brennraum eingekoppelte Leistung längs des Umfangs konstant ist.

[0022] Wie bereits beschrieben, neigen sich die Flächen konstanter Phase umso stärker zum Radius je kleiner der Radius wird. Es gibt einen Radius, bei dem die Leistung nur noch in azimuthaler Richtung propagiert. Das führt zu einem feldfreien Bereich im Inneren des Brennraums. Dieser ist dann vorteilhaft, wenn in der Mitte des Brennraums die Brennstoffkonzentration gering ist. Die angeregten Moden entsprechen den bereits erwähnten Whispering Gallery Moden. Diese Kopplung wird besonders effizient erreicht, wenn die Wellenlänge im gewundenen Wellenleiter gegenüber der Freiraumwellenlänge verkürzt wird. Dazu wird der Wellenleiter mit einem nicht absorbierenden Dielektrikum gefüllt.

[0023] Es lassen sich starke Feldüberhöhungen am Rand bei gleichzeitiger vergleichsweise schwächerer Anregung des Feldes in der Mitte erzielen, indem die die Periode der Einkopplung derart gewählt wird, dass eine Kopplung sowohl in eine Volumenmode als auch eine WGM stattfindet. Es ergibt sich dadurch eine Feldüberhöhung an den Randbereichen.

[0024] Die Anregung der Felder am Rand des Brennraums lässt sich auch zeitlich steuern. Zunächst wird eine Frequenz gewählt, bei der vom Speisewellenleiter in die den gesamten Brennraum anregende Volumenmode gekoppelt wird. Die Frequenz kann anschließend so geändert werden, dass in eine zündende WGM eingekoppelt wird.

[0025] An Ende des gewunden Wellenleiters kann eine die Polarisation drehende 45 Grad geneigte Platte eingebracht oder dotiert werden. Die das Ende des gewundenen Leiters erreichende Mikrowellenleistung wird dann in einer gedrehten Polarisation reflektiert. Die in der 90° gedrehten Polarisation in den Brennraum eingekoppelte Leistung interferiert dann nicht mit der in Vorwärtsrichtung eingekoppelten Leistung.

[0026] Die Erfindung erlaubt somit genaue Steuerung des Beginns einer Raumzündung eines Kraftstoff-Luft-Gemisches in einem Brennraum, so dass eine optimale schadstoffarme Verbrennung des Kraftstoffes mit einem gegenüber herkömmlichen Hubkolben-Verbrennungsmotoren erhöhten Wirkungsgrad erreicht wird. Dies wird u.a. auch dadurch erreicht, dass die Mikrowellen bezüglich einer Kurbelwelle winkelgradgesteuert eingeleitet werden, so dass eine genaue Steuerung der Zündung durchgeführt werden kann. Generell ermöglicht die Erfindung die sichere Zündung von mageren Kraftstoff-Luft-Gemische, was eine zusätzliche Anreicherung zum Zünden nicht erforderlich macht und zu einem geringeren Treibstoffverbrauch führt. Schadstoffe und deren Entstehung können durch die Verbrennungstemperatur und durch das Mischungsverhältnis von Luft und Treibstoff geregelt werden. Die Verbrennung gemäß der Erfindung

läuft schneller ab als bei herkömmlichen Zündungen. Dies hat eine "kältere" Verbrennung zur Folge, so dass der Wirkungsgrad steigt. Weiterhin sind prinzipiell bei kälteren Verbrennungsabläufen geringere Schadstoffemissionen erzielbar. Durch die kältere Verbrennung wird die Konzentration von NO in den Abgasen reduziert. Durch die Raumzündung ist der Brennvorgang im Unterschied zur herkömmlichen Verbrennung deutlich weniger auf den Brennfortschritt in Form von Diffusionsflammen angewiesen. Damit werden weitere Wärmeverluste vermieden und eine Effizienzsteigerung erreicht. Eine Aufheizphase des Brennraums und der Luft im Oxidationsbereich ist bei der dieser Verbrennung nicht gegeben.

[0027] Nachfolgend wird die Erfindung anhand schematischer Übersichtsskizzen näher erläutert. Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung der Erfindung in Verbindung mit den Ansprüchen und der beigefügten Zeichnung. Die einzige Ausführungsform wird in verschiedenen Ansichten und Schnittdarstellungen dargestellt. Es zeigen

- Figur A einen Ausschnitt eines Verbrennungsmotors in einer Draufsicht ohne Zylinderkopf;
- Figur B eine Schnittdarstellung entlang der Linie A-A des Ausschnitts von Figur A mit Zylinderkopf;
- Figur C eine Vergrößerung der Einzelheit X in Figur B; und
- Figur D eine Schnittdarstellung entlang der Linie B-B von Figur B.

[0028] Die einzelnen Figuren werden nachfolgend gemeinsam beschrieben, da es sich lediglich um ein Ausführungsbeispiel mit verschiedenen Darstellungen handelt. Die Figuren zeigen in schematischer Darstellung den Ausschnitt eines Verbrennungsmotors 1 mit einem Zylinderkopf 2 und einem Motorblock 3. In dem Motorblock 3 befindet sich ein Zylinder 4 mit einem darin beweglichen Kolben 5 und einem oberhalb des Zylinders 4 teilweise im Zylinderkopf 2 befindlichen Brennraum 6 zwischen dem Kolbenboden 5' und dem Zylinderkopf 2. In den Brennraum 6 mündet ein schematisch angedeuteter Einlass 7 für das Kraftstoff-Luft-Gemisch. Nicht dargestellt sind Auslässe für das Abgas, die in dem Fachmann bekannte übliche Art und Weise ausgebildet sein können. Der schematisch angedeutete Zylinderkopf 2 mit einem zentralen Einlass 7 für das Kraftstoff-Luft-Gemisch kann selbstverständlich auch zusätzlich noch Zündkerzen oder Auslässe für die Abgase aufweisen. In dem Zylinder 4 ist eine zusätzliche Innenwand 8 vorgesehen, die aus einem Material besteht, das für die Funktion eines Mikrowellenfensters geeignet ist. Dies kann beispielsweise ein keramisches Material, vorzugsweise mit einer hohen Reinheit, oder ein anderes geeignetes mikrowellendurchlässiges, abrasionsfestes Material sein.

[0029] Die Brennraumwand 8 wird durch eine in dem Zylinder 4 angeordnete Wandschicht in Form einer hülseförmigen Laufbuchse 9 aus einem keramischen Material gebildet, in deren Wand ein Hohlleiterringraum 10 angeordnet ist. Der Hohlleiterringraum 10 ist mit einer Zuführung 13 für die Mikrowellen verbunden, die außerhalb des Motorblockes 3 an eine nicht dargestellte Energiequelle anschließbar ist und deren dem Hohlleiterringraum 10 zugewandtes Ende die Eintrittsöffnung 11 in den Hohlleiterringraum 10 für die Mikrowellen bildet. In der Wand der Laufbuchse 9 wird der Hohlleiterringraum 10 in axialer Richtung durch vor dem Sintern eingelegte Metallstreifen 14 (kann auch dotiert werden) auf. Zusätzlich ist eine schräg gestellte Trennwand 16 an der Mündung der Zuführung 13 in dem Hohlleiterringraum 10 angeordnet, die der Umlenkung der einlaufenden Mikrowelle in den Hohlleiterringraum 10 und nach dem Umlauf durch den Hohlleiterringraum 10 in den Brennraum 6 dient. Zusätzlich werden damit Rückreflektionen der Mikrowelle vermieden. Die radialen Wände des Hohlleiterringraumes 10 werden an der radialen Außenwand der Laufbuchse 9 durch die metallische Wand 17 des Motorblockes 3 und an der Brennraumwand 8 durch eine in üblichen Verfahren aufgebraachte Metallschicht 15 gebildet. Diese Metallschicht 15 wird an den Stellen, an denen die Mikrowellen austreten sollen, weggeätzt. In dem Ausführungsbeispiel sind eine Vielzahl von Austrittsöffnungen 12 in Form von Spalten dargestellt, die sich gleichmäßig über die Länge des Hohlleiterringraumes 10 verteilen. Dadurch findet eine Einkopplung der Mikrowellenenergie in der vorstehend beschriebenen Form statt.

[0030] Die Teile des Motors, wie Motorblock, Zylinderkopf etc. sind aus einem dafür geläufig verwendeten Material, üblicherweise Metall, wobei das Material entsprechend dem Einsatz ausgewählt werden kann. Die Begrenzung für die Mikrowellen in den dargestellten Hohlleiterringräumen ist metallisch, wobei auch zusätzlich noch Maßnahmen getroffen werden können, um die Leitfähigkeit zu optimieren, beispielsweise durch Oberflächenbeschichtung mit einem hoch elektrisch leitfähigen Material.

Patentansprüche

- Verbrennungsmotor (1) mit wenigstens in einem Zylinder (4) mit darin bewegbaren Kolben (5) in einem Motorblock (3) bei dem die Mikrowellen über ein Mikrowellenfenster in einen Brennraum (6) gelangen, der durch den Kolbenboden (5') und einem Zylinderkopf (2) gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennraum (6) wenigstens bereichsweise eine als Mikrowellenfenster wirkenden Brennraumwand (8) aufweist, die durch eine Wandschicht (9) aus einem keramischen Material gebildet ist, in der mindestens ein umlaufender Hohlleiterringraum (10) mit mindestens einer Eintrittsöffnung (11) für die Mikrowelle angeordnet ist, und die mindestens eine

Austrittsöffnung (12) für die in dem Hohlleiterringraum (10) der Wandschicht (9) geführten Mikrowelle aufweist.

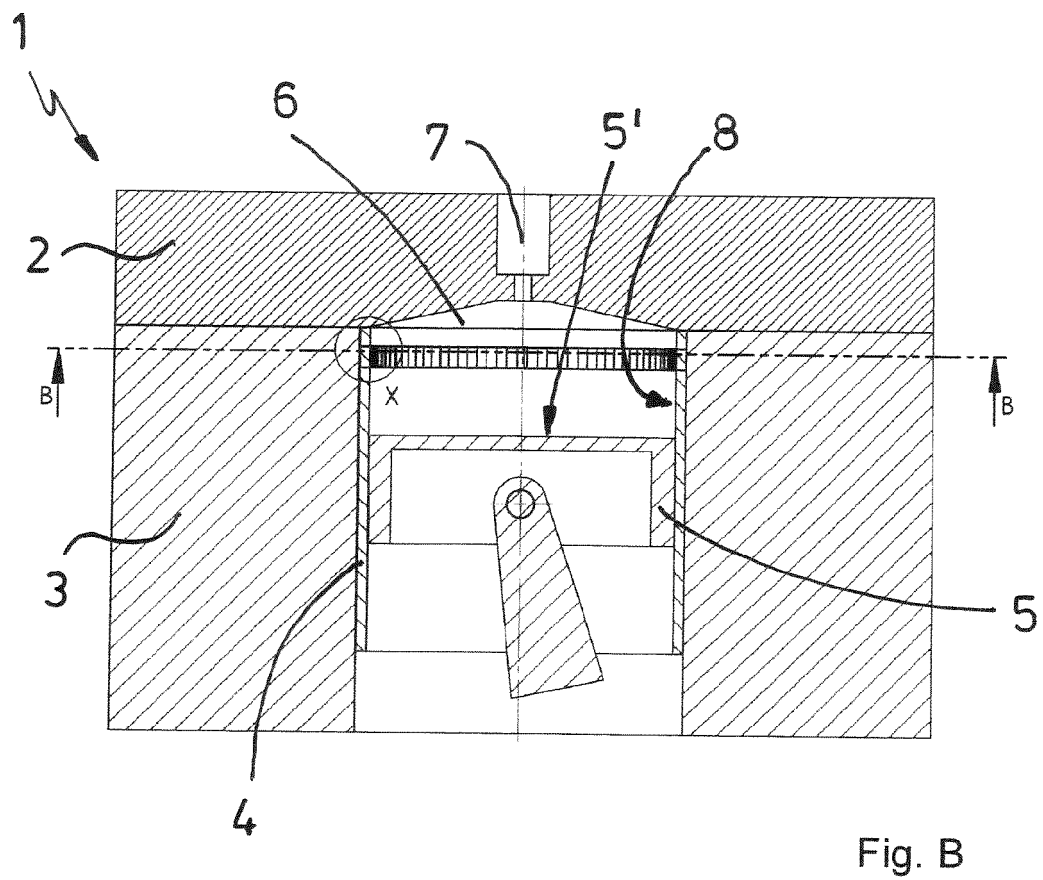
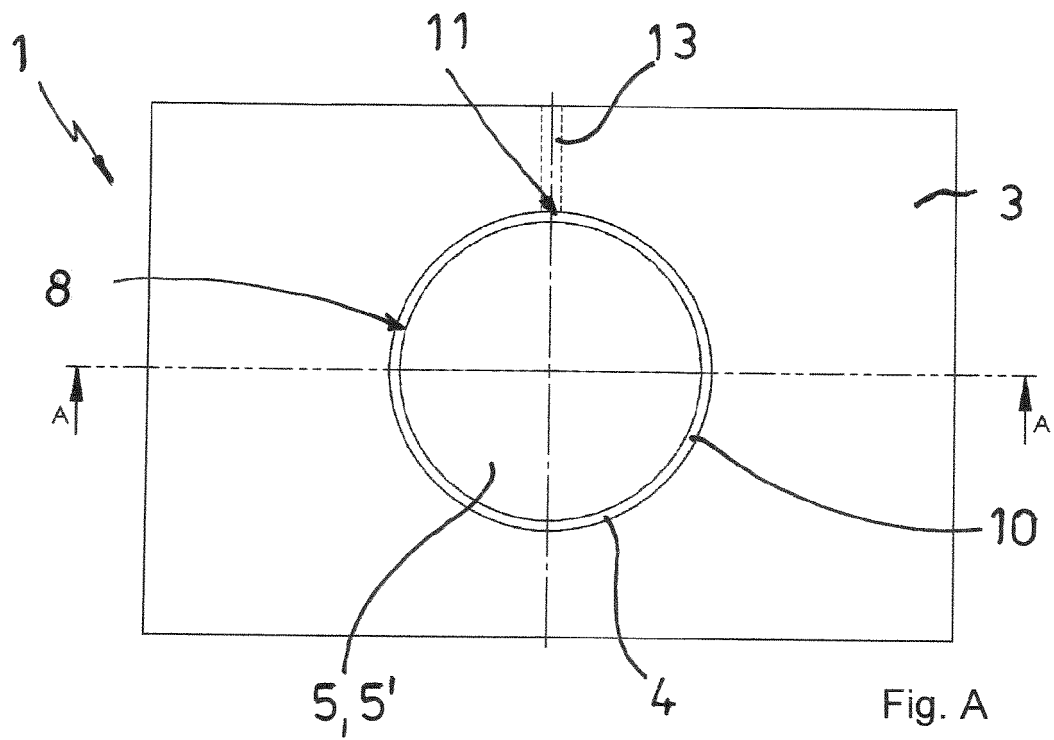
2. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlleiterringraum (10) in radialer und axialer Richtung der Wandschicht (9) durch metallische Flächen (14, 15) gebildet wird, wobei die dem Brennraum (6) zugewandte Fläche mindestens eine Öffnung (15) für den Austritt und die dem Motorblock (3) zugewandte Fläche eine Öffnung (11) für den Eintritt von Mikrowellen aufweist. 5
3. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlleiterringraum (10) mindestens in axialer Richtung der Wandschicht (9) durch metallische Streifen (14) begrenzt wird. 10
4. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlleiterringraum (10) mindestens in radialer Richtung der Wandschicht (9) wenigstens teilweise durch eine auf die jeweilige Wandschicht (8) aufgebrachte metallische Schicht (15) begrenzt wird. 20
5. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Ende des Hohlleiterringraumes (10) eine unter einem Winkel zu dem Hohlleiterringraum (10) angeordnete Wand (16) und eine Austrittsöffnung (12) in Richtung Brennraum (6) angeordnet ist. 25
6. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die unter einem Winkel angeordnete Wand (16) metallisch ausgebildet ist und vorzugsweise gleichzeitig mit der anderen Seite an die Eintrittsöffnung (11) angrenzt. 30
7. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Hohlleiterringraum (10) und Brennraumwand (8) eine Vielzahl von senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Mikrowelle zwischen Hohlleiterringraum (10) und Brennraumwand (8) angeordnete Spalte (12) ausgebildet sind. 35

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ. 50

1. Verbrennungsmotor (1) mit wenigstens einem Zylinder (4) mit darin bewegbaren Kolben (5) in einem Motorblock (3) bei dem die Mikrowellen über ein Mikrowellenfenster in einen Brennraum (6) gelangen, der durch den Kolbenboden (5') und einem Zylinderkopf (2) gebildet wird, wobei der Brennraum (6) we-

nigstens bereichsweise eine als Mikrowellenfenster wirkende Brennraumwand (8) aufweist, die aus einem keramischen Material gebildet ist, in der mindestens ein umlaufender Hohlleiterringraum (10) mit mindestens einer Eintrittsöffnung (11) für die Mikrowelle angeordnet ist, und die mindestens eine Austrittsöffnung (12) für die in dem Hohlleiterringraum (10) geführte Mikrowelle aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlleiterringraum (10) in Form einer in dem Motorblock (3) angeordneten hülsenförmigen Laufbuchse (9) ausgebildet ist und durch eingelegte und/oder aufgebrachte metallische Flächen (14) in axialer Richtung der Laufbuchse (9) und durch eine wenigstens teilweise auf die Laufbuchse (9) aufgebrachte metallische Schicht (15) in radialer Richtung der Laufbuchse (9) begrenzt ist.

2. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich im Bereich der Eintrittsöffnung (11) am Ende des Hohlleiterringraumes (10) eine unter einem Winkel zu dem Hohlleiterringraum (10) angeordnete Wand (16) befindet, die der Umlenkung der einlaufenden Mikrowelle in den Hohlleiterringraum (10) und nach dem Umlauf durch den Hohlleiterringraum (10) in den Brennraum (6) durch eine Austrittsöffnung (12) dient.
3. Verbrennungsmotor (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die unter einem Winkel angeordnete Wand (16) metallisch ausgebildet ist und vorzugsweise gleichzeitig mit der anderen Seite an die Eintrittsöffnung (11) angrenzt.
4. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Hohlleiterringraum (10) und Brennraumwand (8) eine Vielzahl von senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Mikrowelle zwischen Hohlleiterringraum (10) und Brennraumwand (8) angeordnete Spalte (12) ausgebildet sind. 40
5. Verbrennungsmotor (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Motorblock (3) eine Zuführung (13) für die Mikrowelle angeordnet ist, die mit der Eintrittsöffnung (11) in den Hohlleiterringraum (10) mündet. 45



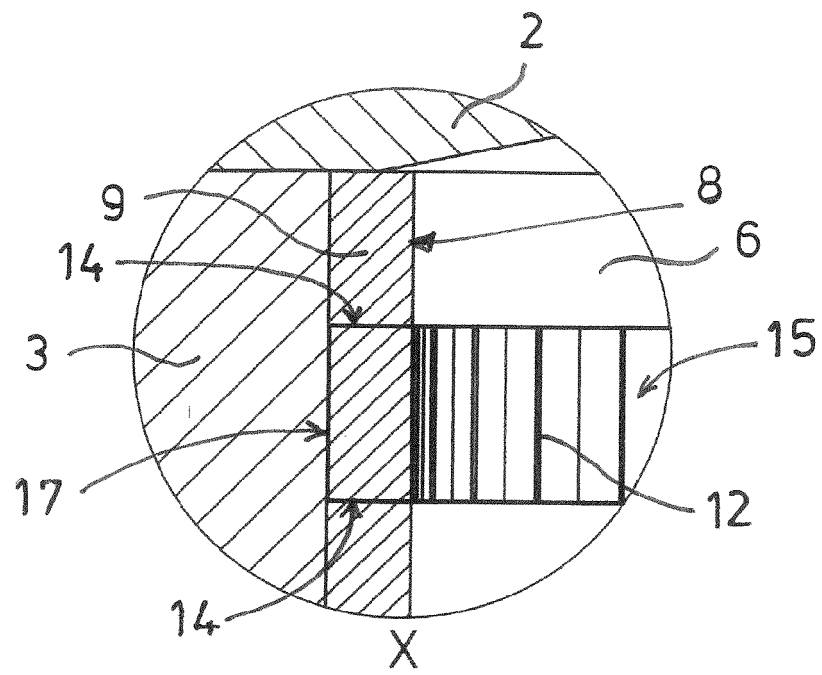


Fig. C

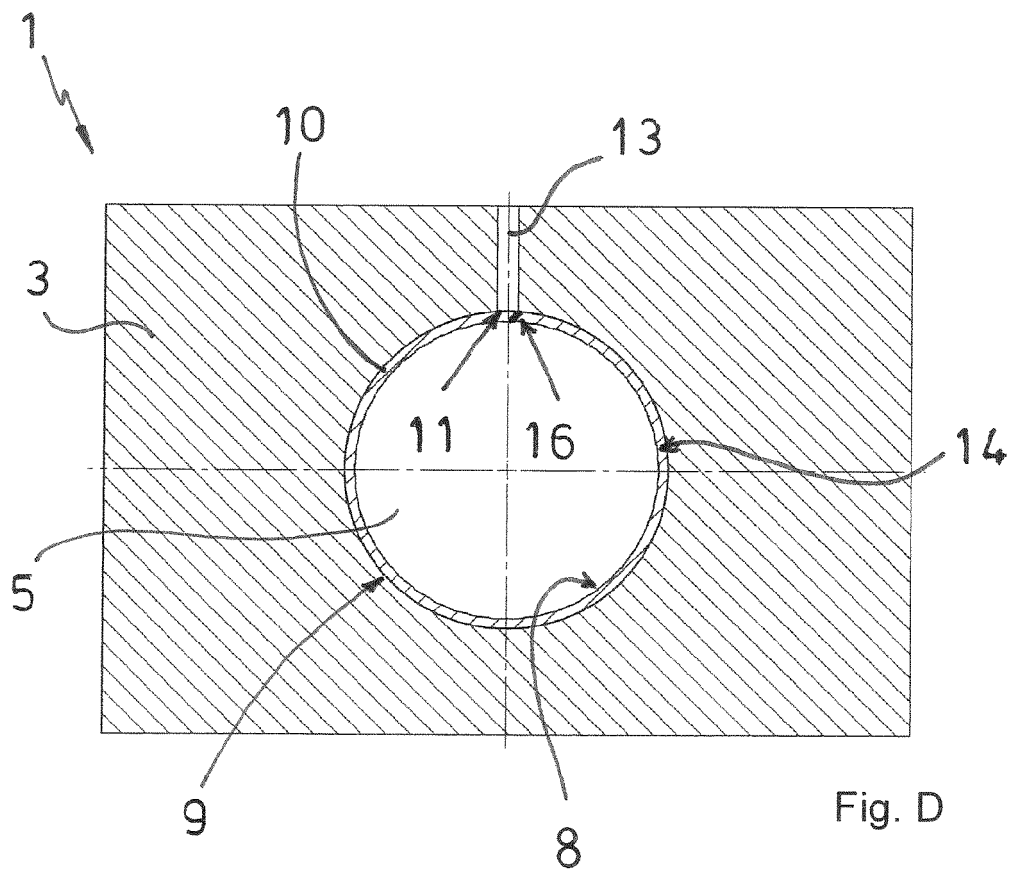


Fig. D



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 15 15 7315

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2011/030660 A1 (IKEDA YUJI [JP]) 10. Februar 2011 (2011-02-10)	1	INV. F02P23/04 H01P5/00
A	* Abbildungen *	2-7	
X	EP 2 687 714 A2 (IMAGINEERING INC [JP]) 22. Januar 2014 (2014-01-22)	1	
A	* Abbildung 24 *	2-7	
X	EP 2 065 592 A1 (IMAGINEERING INC [JP]) 3. Juni 2009 (2009-06-03)	1-7	
	* Abbildungen 8, 10, 3 *		
X	DE 10 2011 116340 A1 (BRUEMMER HEINZ [DE]) 25. April 2013 (2013-04-25)	1-7	
	* Seite 2/5; Abbildungen *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F02P H01P
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 16. September 2015	Prüfer Ulivieri, Enrico
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 15 7315

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

16-09-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011030660 A1	10-02-2011	CN 101970829 A	09-02-2011
		JP 5374691 B2	25-12-2013
		JP 2009221947 A	01-10-2009
		KR 20100128327 A	07-12-2010
		US 2011030660 A1	10-02-2011
		WO 2009113692 A1	17-09-2009

EP 2687714 A2	22-01-2014	EP 2687714 A2	22-01-2014
		US 2014299085 A1	09-10-2014
		WO 2012124671 A2	20-09-2012

EP 2065592 A1	03-06-2009	AU 2006348506 A1	27-03-2008
		BR PI0619662 A2	11-10-2011
		CA 2625789 A1	27-03-2008
		CA 2828176 A1	27-03-2008
		CA 2828290 A1	27-03-2008
		CN 101351638 A	21-01-2009
		CN 102836620 A	26-12-2012
		CN 104763572 A	08-07-2015
		EP 2065592 A1	03-06-2009
		KR 20090055515 A	02-06-2009
		KR 20130019015 A	25-02-2013
		US 20092229581 A1	17-09-2009
		US 2012012077 A1	19-01-2012
		US 2012013254 A1	19-01-2012
		US 2012293071 A1	22-11-2012
		US 2013336849 A1	19-12-2013
		WO 2008035448 A1	27-03-2008

DE 102011116340 A1	25-04-2013	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10356916 A1 [0002]
- EP 15157298 A [0015]