



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 400 472 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2284/87

(51) Int.Cl.⁶ : **F02B 23/10**

(22) Anmeldetag: 9. 9.1987

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 5.1995

(45) Ausgabetag: 25. 1.1996

(30) Priorität:

25. 9.1986 DE 3632579 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

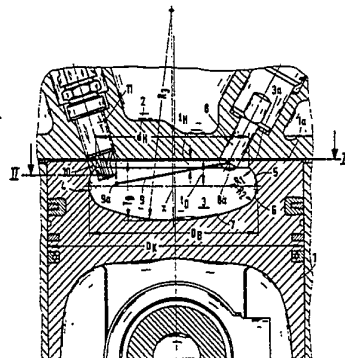
DE 3245780C US 4294206A SU 781376A

(73) Patentinhaber:

MAN NUTZFAHRZEUGE GMBH
D-8000 MÜNCHEN 50 (DE).

(54) FREMDGEZÜNDETE, LUFTVERDICHTENDE BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine fremdgezündete luftverdichtende Brennkraftmaschine, welche im Kolben (1) einen rotationskörperförmigen Brennraum (3) mit eingeschnürter Überströmöffnung (3a) aufweist, bei der die Einspritzdüse (8) im Zylinderkopf (2) in der Nähe des Brennraumrandes liegt und die der Einspritzdüse gegenüberliegende Zündvorrichtung (11) in oberer Totpunktstellung des Kolbens in den Brennraum eintaucht und bei der die Gemischbildung überwiegend durch Kraftstoffwandauftragung erfolgt. Bei einer derartigen Brennkraftmaschine sollen die beim Übergang auf einen aufgeladenen Motor gestiegenen Anforderungen an die Gemischbildung in allen Betriebsbereichen zuverlässig erfüllt werden, wodurch sich auch eine weitere Verbesserung der Zündungsstabilität ergeben soll. Dies wird im wesentlichen durch die spezielle Form und Bemessung des Brennraumes erreicht.



AT 400 472 B

Die Erfindung bezieht sich auf eine fremdgezündete, luftverdichtende Brennkraftmaschine mit direkter Einspritzung des Kraftstoffes durch einen Strahl zu einem Hauptteil auf die gegenüberliegende Wand des im Kolben vorgesehenen rotationskörperförmigen Brennraumes, bei der der einströmenden Luft durch bekannte Mittel eine solche Drehbewegung in Richtung des eingespritzten Kraftstoffstrahles erteilt wird, daß

5 hiedurch der Kraftstoff in Dampfform von der Brennraumwand allmählich abgelöst und mit der Luft vermischt wird, die Einspritzdüse im Zylinderkopf in der Nähe des Brennraumrandes liegt und die der Einspritzdüse gegenüberliegende Zündvorrichtung in oberer Totpunktstellung des Kolbens in den Brennraum eintaucht, bei der die Seitenwandung des Brennraumes - im Querschnitt gesehen - aus zwei

10 ineinander übergehenden gekrümmten Linien mit Krümmungsradien (R_1 , R_2) gebildet ist, wobei sich die erste Krümmungslinie mit dem Radius (R_1) von einer eingeschnürten Brennraumöffnung bis zum größten Brennraumdurchmesser (D_B) und die zweite Krümmungslinie mit dem Radius (R_2) bis zum Brennraumboden erstreckt bzw. in diesen übergeht, wobei der größte Brennraumdurchmesser (D_B) das 0,5-bis 0,7-fache des Kolbendurchmessers (D_K) beträgt und - vom Kolbenboden aus - sich in einer bestimmten Tiefe (t_D) im Verhältnis zur Brennraumtiefe (T_B) befindet und das Verhältnis Brennraumöffnungsdurchmesser (d_H) zu

15 größtem Brennraumdurchmesser (D_B) zwischen 0,85 und 0,95 und die Wandhöhe (t_H) der Brennraumöffnung zwischen 0,1 und 0,15 der Brennraumtiefe (T_B) liegt, wobei ein Zentriwinkel α zwischen Kraftstoffstrahl - Auftreffpunkt und dem Zentrum der Zündvorrichtung in einer senkrecht zur Brennraumlängsachse liegenden Ebene projiziert - zwischen 15° und 45° beträgt und der Kraftstoffstrahl mit einer zur Zylinderachse senkrechten Ebene einen Winkel β von 10° bis 15° einschließt, wobei der Auftreffpunkt des

20 geometrischen Kraftstoffstrahles auf der Brennraumwand in der Stellung des Kolbens im oberen Totpunkt in einem Abstand (a) von 40 bis 60 % der Brennraumtiefe (T_B) unterhalb des Kolbenbodens liegt.

Eine derartige Brennkraftmaschine ist aus der DE-PS 32 45 780 bekannt.

Aus der US-PS 4 294 206 ist ein ebener Brennkammerboden bekannt. Aus der SU 781 376 ist ein gekrümmter Brennkammerboden bekannt, über dessen Krümmung aber keine Aussagen gemacht werden.

25 Bei einer Brennkraftmaschine mit Schichtladung und Fremdzündung ist die Sicherstellung der Entflammung des Luft-Kraftstoffgemisches unter allen möglichen Betriebsbedingungen, sei es Kaltstart, Leerlauf oder Nennleistung, eines der Hauptprobleme. Das bedeutet, daß die Gemischzusammensetzung in dem nur wenige Kubikmillimeter großen Raum zwischen den Zündkerzenelektroden, den der Zündfunke bestreicht, während des Funkenüberschlags lange genug innerhalb der Zündgrenzen liegen muß, um eine für das

30 Weiterbrennen der Zylinderladung ausreichend große Flamme zu erzeugen. Da sich die Luftgeschwindigkeit im Brennraum und die eingespritzte Kraftstoffmenge in weiten Grenzen ändern, ist dieses Problem nur durch sorgfältige Abstimmung einer ganzen Reihe von Parametern zu lösen, wie z.B. Form und gegenseitige Lage von Brennraum, Einspritzstrahl und Kerzenelektroden, weiter der Intensität der Drallströmung sowie der Phasenlage von Einspritz- und Zündvorgang. Dabei ist jeweils Rücksicht zu nehmen auf spezifischen

35 Kraftstoffverbrauch, Abgasverhalten und Bauteilbelastung.

Beim Stand der Technik (DE-PS 32 45 780) galten diese Überlegungen damals für einen Saugmotor. Beim Übergang vom Saugmotor auf einen leistungsstärkeren aufgeladenen Motor erhöht sich der Schwierigkeitsgrad des vorher beschriebenen Optimierungsprozesses, da sich hier sowohl die eingespritzte Kraftstoffmenge als auch die durchgesetzte Luftmenge in stärkerem Maße ändern als beim Saugmotor

40 (zwischen unterem Leerlauf und Nennleistung liegen größere Einspritzmengen- und Luftgeschwindigkeitsspannen vor). Dabei zeigte es sich, daß dabei der Form des Kolbenbrennraums besonders große Bedeutung zukommt.

In der DE-PS 32 45 780 wurde der Übergang von einer kugelähnlichen Brennraumform zu einer flacheren Form beschrieben. Die Gründe dafür waren:

- 45 a) Abbau der Quetschströmung zur Verbesserung der Zündungsstabilität und der thermischen Entlastung des Brennraumrandes.
- b) Verwendung von möglichst kurzen Elektroden wegen sonst vorhandener Bruch- und Verformungsgefahr und wegen Verringerung des thermisch bedingten Abbrandes.

Die Brennraumform bzw. die Strallage gemäß dem Stand der Technik ergibt bei einer aufgeladenen

50 Brennkraftmaschine bei hoher Drehzahl und kleiner Motorbelastung eine zu magere Gemischqualität. Eine Möglichkeit hier Abhilfe zu schaffen wäre, den Strahlauftreffpunkt näher an die Zündkerze zu bringen. Dies wurde zwar die Teillastschwierigkeiten beheben, aber dafür die wegen des größeren Kraftstoffangebots sowieso schon größeren Schwierigkeiten im höheren Lastbereich (fettes Gemisch) weiter erhöhen. Besser erscheint es deshalb, die Teillastschwierigkeiten dadurch zu beheben, daß bei ungeänderter Strallage die

55 Krümmung der Brennraumwand erhöht und das Gemisch in Kerzennähe auf diese Weise angefettet wird. Die hiezu erforderliche sehr starke Krümmung der Brennraumwand würde zu einem gemischbildungs- und verbrennungstechnisch ungünstig großen und flachen Brennraum führen (das Brennraumvolumen soll ja gleich bleiben). Der dabei vorliegende große Brennraumdurchmesser würde die notwendige Drallintensität

zu stark herabsetzen. Außerdem ergäbe sich damit bei höherer Motorbelastung eine zu große Filmdicke, die erfahrungsgemäß zu Nachteilen durch verschleppte Verbrennung führt (zu fettes Gemisch im höheren Lastbereich).

Aufgabe der Erfindung ist es, bei einer Brennkraftmaschine der eingangs beschriebenen Art die beim Übergang auf einen aufgeladenen Motor gestiegenen Anforderungen an die Gemischbildung in allen Betriebsbereichen zu erfüllen, d.h. weder ein zu mageres noch ein zu fettes Luft-Kraftstoffgemisch entstehen zu lassen, wobei die vorstehend erwähnten Vorteile a) und b) weiter verbessert werden sollen und stets eine sichere Zündung und optimale Verbrennung des aufbereiteten Gemisches erreicht wird.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Brennkraftmaschine dadurch gelöst, daß eine dritte Krümmungslinie mit dem Radius (R_3) an die zweite Krümmungslinie mit dem Radius (R_2) anschließt und den Boden des Brennraumes bildet, daß der größte Brennraumdurchmesser (D_B) in einer Tiefe (t_D) von 0,42 bis 0,70 der Brennraumtiefe (T_B) liegt und bestimmte Verhältnisse zwischen den Radien (R_1 , R_2 , R_3) der Krümmungslinien und der Brennraumtiefe (T_B) vorgesehen sind, derart, daß der Radius (R_1) der ersten Krümmungslinie eine Länge von 0,35 bis 1,20 der Brennraumtiefe (T_B), der Radius (R_2) der zweiten Krümmungslinie eine Länge von 0,10 bis 0,40 der Brennraumtiefe (T_B) und der Radius (R_3) der dritten Krümmungslinie eine Länge von 3,2 bis 4,0 der Brennraumtiefe (T_B) aufweist, daß die Brennkraftmaschine aufgeladen ist und daß eine vom Brennraum schräg nach außen verlaufende Zündvorrichtung zur Anwendung kommt.

Gegenüber dem Stand der Technik (dort liegt eine Brennraumform aus zwei Kreisbögen und einem geraden Bodenstück vor), ist also jetzt eine korbähnliche Brennraumform aus insgesamt drei ineinander übergehenden Krümmungsradien entstanden. Eine zu starke Krümmung des Bodenbereiches bzw. eine zu starke Wandkrümmung zum Brennraumboden hin wird dabei durch den Radius (R_2) der zweiten Krümmungslinie verhindert.

Damit ergibt sich zwar eine insgesamt stärkere Krümmung des für die Gemischbildung wesentlichen Brennraumwandbereiches (Brennraumäquatorbereichs), die vorher erwähnten Nachteile einer zu starken Krümmung der Brennraumwand bzw. des Brennraumbodens (sofern R_3 sofort in R_1 übergeht) treten aber nicht auf. Es ist nämlich durch diese geringere Wandkrümmung unterhalb des Brennraumäquators eine bessere Ausweichmöglichkeit für den Kraftstoff geschaffen worden, so daß bei Vollast ein zu fettes Gemisch an den Elektroden nicht auftreten kann. Auch ergeben sich durch die Kreisbogenform des Brennraumbodens (Vertiefung!) keinerlei Störungen der Luftströmung, d.h. es liegen nach wie vor gleiche Drallverhältnisse vor. Auch das Brennraumvolumen bleibt erhalten.

Es hat sich gezeigt, daß durch die erfindungsgemäße Brennraumform eine derartige Verbesserung des Gemischbildungsablaufs eintritt, daß es sogar möglich wird, die Zündvorrichtung nicht nur senkrecht zum Kolbenboden (also parallel zur Zylinderachse), sondern auch nach außen geneigt einzubauen. Durch einen Schrägeinbau der Zündkerze vermeidet man die Durchführung der Kerzeinbauöffnung durch die Ventilhaube, wodurch sich eine bessere Funktionalität der Zylinderkopfkonstruktion ergibt. Dagegen führt der Schrägeinbau zu einer größeren Ausnehmung in der oberen Brennraumwand und in der Folge, zu einer Beeinträchtigung der Verbrennungsstabilität. Durch die verbesserte Gemischverteilung wird die ungünstige Wirkung der durch die Kerzenschräglage bedingten Kolbenausnehmung auf das Strömungsgeschehen in Kernnähe überkompensiert.

Durch die erzielte sehr große Stabilität der Zündung bzw. der Verbrennung wird auch die Notwendigkeit verringert, die Zündvorrichtung beispielsweise mit Stabelektroden auszustatten, die eine Länge von mehreren Millimetern zueinander parallel sind, um den elektrischen Funken Gelegenheit zu geben, den Zyklus-schwankungen hinsichtlich der räumlichen Gemischverteilung zu folgen. Das heißt, daß damit eine größere Freiheit bei der Auswahl der Elektrodenform gegeben ist. Da die Standzeit (Langzeithaltbarkeit) der Zündquelle, insbesondere bei hochverdichteten fremdgezündeten Motoren ein spezifisches Problem darstellt, wird die oben erwähnte Tatsache dazu benutzt, daß Zündquellen zur Anwendung kommen, bei denen geringere Temperaturen an den Elektrodenflächen und damit bedingte geringere Abbrandgeschwindigkeiten entstehen. Dies wird beispielsweise durch eine Zündkerze ohne vorstehende Elektroden erreicht. Zwar ist bei derartigen Kerzen die Versorgung der Elektroden mit zündfähigem Gemisch schwieriger als bei Kerzen mit vorstehenden Haken- oder Stabelektroden, da keine durch die Ladungsbewegung im Brennraum induzierte Strömung zwischen den Elektroden auftritt, doch erweist sich hier gerade die Schräganordnung der Kerze als vorteilhaft, weil dadurch die Stirnfläche mit den Elektroden dem Kraftstoffstrahl zugewendet ist, und die Zündung hier durch die relativ kleine Menge direkt luftverteiltem Kraftstoff erreicht wird.

Nachfolgend wird die Erfindung an Hand der Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt die Fig. 1 einen Längsschnitt durch den oberen Teil eines Kolbens bzw. Zylinderkopfes und Fig. 2 zeigt einen Seitenriß.

In der Fig. 1 ist im Boden 1a eines Kolbens 1 mittig oder nahezu mittig ein Brennraum 3 mit einer eingeschnürten Brennraumöffnung 3a angeordnet. Der flüssige Kraftstoff wird aus einer nicht näher

dargestellten Einspritzdüse 8, welche außermittig im Zylinderkopf 2 angeordnet ist, zu einem im Hinblick auf die Art der Betriebsbedingungen und die Art des Kraftstoffes (Siedelage und Zündwilligkeit) geeigneten Zeitpunkt mit nur einem Strahl 9 in den Brennraum 3 in Richtung der rotierenden Verbrennungsluft eingespritzt. Der Auftreffpunkt des Kraftstoffstrahls auf der Brennraumwand 4 ist mit 9a bezeichnet und liegt im Bereich des größten Brennraumdurchmessers (D_B) (in OT-Stellung des Kolbens). Der Strahlabspritzpunkt 8a der Einspritzdüse 8 liegt dabei in der Nähe des Brennraumöffnungsrandes. Dem Strahlabspritzpunkt 8a gegenüber ist eine im Kolbenboden 1a bzw. der Brennraumwand 4 eingearbeitete Ausnehmung 10 vorgesehen, in die in oberer Totpunktstellung des Kolbens 1 eine Zündvorrichtung 11, welche ebenfalls im Zylinderkopf 2 angeordnet ist, eintaucht. Die Zündvorrichtung besteht beispielsweise - wie in der Fig. 1 dargestellt - aus mehreren Stabelektroden; es kann aber auch eine Zündvorrichtung mit Hakenelektroden verwendet werden. Wie in Fig. 1 dargestellt, verläuft die Zündvorrichtung 11 vom Brennraum 3 schräg nach außen (bezogen auf OT-Stellung des Kolbens). Dadurch wird die Durchführung der Kerzeneinbauöffnung durch die Zylinderkopf-Ventilhaube (was bei einer senkrecht zum Kolbenboden 1a angeordneten Zündvorrichtung notwendig ist) vermieden. Die Schräganordnung der Zündvorrichtung 11 wird durch die erreichte

Gemischbildungsverbesserung ermöglicht.

Die Seitenwandung bzw. der Boden des Brennraumes 3 wird aus drei ineinander übergehenden gekrümmten Linien 5, 6, 7 gebildet, wobei sich die erste Krümmungslinie 5 mit dem Krümmungsradius R_1 von der eingeschnürten Brennraumöffnung 3a bis zum größten Brennraumdurchmesser (D_B) und die zweite Krümmungslinie 6 mit dem Krümmungsradius (R_2) bis zum Brennraumboden 7 erstreckt bzw. in diesen übergeht. Der Brennraumboden selbst stellt dabei die dritte Krümmungslinie 7 mit dem Krümmungsradius (R_3) dar. Der größte Brennraumdurchmesser (D_B), in dessen Horizontalebene auch die Mittelpunkte der Krümmungslinien 5, 6 liegen, beträgt dabei das 0,5- bis 0,7-fache des Kolbendurchmessers (D_K) und befindet sich vom Kolbenboden 1a aus, in einer Tiefe (t_D), die dem 0,42- bis 0,70-fachen der Brennraumtiefe (T_B) entspricht. Der Krümmungsradius (R_1) der Brennraumseitenwandung 4 weist dabei eine Länge von 0,35 bis 1,20 (T_B), der Krümmungsradius (R_2) eine Länge von 0,10 bis 0,40 (T_B) auf. Der Krümmungsradius (R_3) der Bodenkrümmungslinie 7 (Mittelpunkt liegt auf der Brennraumlängsachse x) liegt zwischen 3,2 bis 4,0 (T_B). Schließlich liegt der Durchmesser (d_H) der eingeschnürten Brennraumöffnung 3a zwischen 0,85 und 0,95 (D_B), wobei die Wandhöhe (t_H) dieser Öffnung zwischen 0,1 und 0,15 (T_B) beträgt.

Die Kraftstoffstrahl-Lage bzw. die Zuordnung des Kraftstoffstrahl-Auftreffpunktes 9a auf der Brennraumwand zur Zündvorrichtung 11 stimmen mit der gattungsgemäßen Brennkraftmaschine überein.

In Fig. 2 ist in einem Seitenriß auch noch die tatsächliche Größe des Winkels β dargestellt, den der Kraftstoffstrahl 9 mit einer zur Zylinderachse x senkrechten Ebene einschließt, wobei die Gerade 15 die Ebene senkrecht zur Zylinderachse x abbildet und die Strecke 16 den Abstand von Strahlungsangangs- punkt 8a zum Strahlauftreffpunkt 9a in Richtung der Zylinderachse x darstellt. Der Auftreffpunkt 9a des Kraftstoffstrahles 9 auf der Brennraumwand 4 liegt in OT-Stellung des Kolbens 1 in einem Abstand a von 40 bis 60 % der Brennraumtiefe unterhalb des Kolbenbodens 1a. Dabei schließt derselbe mit dem Zentrum der Mittelelektrode 13 der Zündvorrichtung 11 (Fig. 1) in einer senkrecht zur Brennraumachse x liegenden Ebene projiziert, einen Zentriwinkel α von 15 bis 45° ein.

Wie aus Fig. 2 weiter noch ersichtlich, brauchen - aus konstruktiven Gesichtspunkten - der Strahlabspritzpunkt 8a sowie die Zündvorrichtung nicht unbedingt direkt diametral gegenüber zu liegen, sondern können auch etwas von der Brennraummitte (Kolbenmitte) versetzt angeordnet sein. Auch wäre es möglich, den Brennraum selbst etwas außermittig anzuordnen, wenn ebenfalls aus konstruktiven Gründen der Abstand der Zündvorrichtung zur Zylindermitte unter Umständen etwas größer sein muß als bei einem mittigen Brennraum.

Die Zündvorrichtung besteht beispielsweise aus mehreren Stabelektroden; im vorliegenden Fall aus einer Mittelelektrode 13 und aus drei um diese Mittelelektrode 13 angeordneten Einzelelektroden 14a, 14b, 14c.

Abschließend ist noch zu erwähnen, daß - bedingt durch die mittels der erfinderischen Merkmale erreichten Zündungs- bzw. Verbrennungsverbesserungen - eine Zündvorrichtung ohne vorstehende Stab- oder Hakenelektroden zur Benutzung kommen kann. Durch eine derartige Zündvorrichtung wird die Abbrandgeschwindigkeit der Elektroden weiter verringert.

Patentansprüche

1. Fremdgezündete, luftverdichtende Brennkraftmaschine mit direkter Einspritzung des Kraftstoffes durch einen Strahl zu einem Hauptteil auf die gegenüberliegende Wand des im Kolben vorgesehenen rotationskörperförmigen Brennraumes, bei der der einströmenden Luft durch bekannte Mittel eine solche Drehbewegung in Richtung des eingespritzten Kraftstoffstrahles erteilt wird, daß hiedurch der

Kraftstoff in Dampfform von der Brennraumwand allmählich abgelöst und mit der Luft vermischt wird, die Einspritzdüse im Zylinderkopf in der Nähe des Brennraumrandes liegt und die der Einspritzdüse gegenüberliegende Zündvorrichtung in oberer Totpunktstellung des Kolbens in den Brennraum eintaucht, bei der die Seitenwandung des Brennraumes - im Querschnitt gesehen - aus zwei ineinander übergehenden gekrümmten Linien mit Krümmungsradien (R_1 , R_2) gebildet ist, wobei sich die erste Krümmungslinie mit dem Radius (R_1) von einer eingeschnürten Brennraumöffnung bis zum größten Brennraumdurchmesser (D_B) und die zweite Krümmungslinie mit dem Radius (R_2) bis zum Brennraumboden erstreckt bzw. in diesen übergeht, wobei der größte Brennraumdurchmesser (D_B) das 0,5- bis 0,7-fache des Kolbendurchmessers (D_K) beträgt und - vom Kolbenboden aus - sich in einer bestimmten Tiefe (t_D) im Verhältnis zur Brennraumtiefe (T_B) befindet und das Verhältnis Brennraumöffnungsdurchmesser (d_H) zu größtem Brennraumdurchmesser (D_B) zwischen 0,85 und 0,95 und die Wandhöhe (t_H) der Brennraumöffnung zwischen 0,1 und 0,15 der Brennraumtiefe (T_B) liegt, wobei ein Zentriwinkel α zwischen Kraftstoffstrahl-Auftreffpunkt und dem Zentrum der Zündvorrichtung - in einer senkrecht zur Brennraumlängsachse liegenden Ebene projiziert - zwischen 15° und 45° beträgt und der Kraftstoffstrahl mit einer zur Zylinderachse senkrechten Ebene einen Winkel β von 10° bis 15° einschließt, wobei der Auftreffpunkt des geometrischen Kraftstoffstrahles auf der Brennraumwand in der Stellung des Kolbens im oberen Totpunkt in einem Abstand (a) von 40 bis 60 % der Brennraumtiefe (T_B) unterhalb des Kolbenbodens liegt, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine dritte Krümmungslinie mit dem Radius (R_3) an die zweite Krümmungslinie mit dem Radius (R_2) anschließt und den Boden (7) des Brennraumes (3) bildet, daß der größte Brennraumdurchmesser (D_B) in einer Tiefe (t_b) von 0,42 bis 0,70 der Brennraumtiefe (T_B) liegt und bestimmte Verhältnisse zwischen den Radien (R_1 , R_2 , R_3) der Krümmungslinien und der Brennraumtiefe (T_B) vorgesehen sind, derart, daß der Radius (R_1) der ersten Krümmungslinie eine Länge von 0,35 bis 1,20 der Brennraumtiefe (T_B), der Radius (R_2) der zweiten Krümmungslinie eine Länge von 0,10 bis 0,40 der Brennraumtiefe (T_B) und der Radius (R_3) der dritten Krümmungslinie eine Länge von 3,2 bis 4,0 der Brennraumtiefe (T_B) aufweist, daß die Brennkraftmaschine aufgeladen ist und daß eine vom Brennraum (3) schräg nach außen verlaufende Zündvorrichtung (11) zur Anwendung kommt.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

Technical drawing of a mechanical part in cross-section. The drawing shows a central curved component with various dimensions and labels. Key features include:

- Dimensions:** R_1 , R_2 , R_3 , d_H , t_H , g_a , t_B , g , x , t_D , 3 , $8a$, 7 , D_B , D_K , 10 .
- Labels:** 1, 1a, 2, 3a, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 9, 9a, 10, 11.
- Geometric Features:** A central curved surface with radii R_1 and R_2 . A horizontal section line II-II is shown. A vertical section line I-I is also indicated.

Fig. 2

