

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer:	A 50369/2019	(51) Int. Cl.:	<b>F02B 19/12</b>	(2006.01)
(22) Anmeldetag:	23.04.2019		<b>F02B 19/10</b>	(2006.01)
(45) Veröffentlicht am:	15.11.2020		<b>F02M 21/02</b>	(2006.01)
			<b>F02F 1/24</b>	(2006.01)
			<b>F02P 15/02</b>	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

EP 3453856 A1  
JP 2007170310 A  
JP S55101719 A  
US 2017089252 A1  
DE 102017125946 A1  
WO 2014117177 A1  
US 2007235002 A1  
US 2007221164 A1  
US 6055954 A  
US 6095111 A  
US 6948474 B2

(73) Patentinhaber:  
AVL LIST GMBH  
8020 GRAZ (AT)

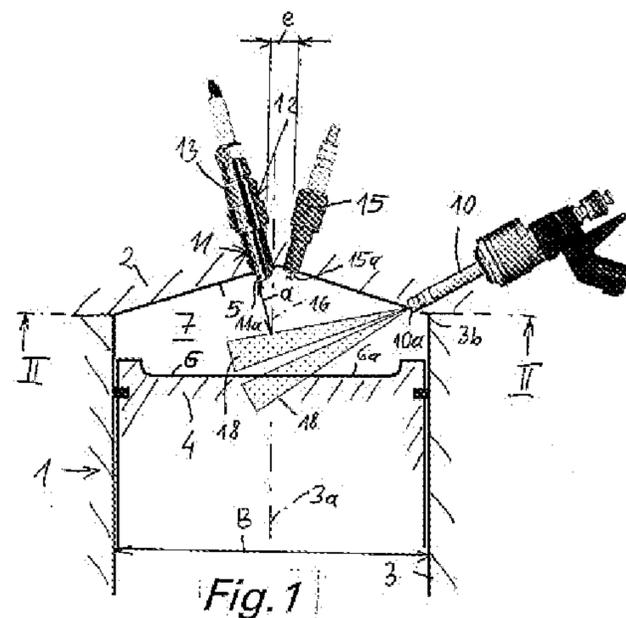
(72) Erfinder:  
Kapus Paul Dr.  
8111 Judendorf (AT)  
Neubauer Matthias Dipl.Ing. (FH)  
8092 Mettersdorf (AT)  
Certic Marko Dipl.Ing.  
8051 Graz (AT)

(74) Vertreter:  
Babeluk Michael Dipl.Ing. Mag.  
1080 Wien (AT)

(54) **BRENNKRAFTMASCHINE MIT EINEM ZYLINDERKOPF**

(57) Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine (1) mit einem Zylinderkopf (2) mit einer Vorkammer (11) pro Zylinder (3), die über zumindest eine Überströmöffnung (14) mit einem Brennraum (7) strömungsverbunden ist, wobei eine erste Zündquelle (13) in die Vorkammer (11) und eine zweite Zündquelle (15) außerhalb der Vorkammer (11) in den Brennraum (7) einmündet.

Um die Verbesserung zu verbessern, Klopfen zu vermeiden und die Emissionen zu verringern, ist vorgesehen, dass eine Einspritzeinrichtung (10) seitlich in den Brennraum (7) einmündet.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit einem Zylinderkopf mit einer Vorkammer pro Zylinder, die über zumindest eine Überströmöffnung mit einem Brennraum strömungsverbunden ist, wobei eine erste Zündquelle in die Vorkammer und eine zweite Zündquelle außerhalb der Vorkammer in den Brennraum einmündet, wobei eine Einspritzeinrichtung seitlich in den Brennraum einmündet. Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine mit einem Zylinderkopf mit einer Vorkammer pro Zylinder, die über zumindest eine Überströmöffnung mit einem Brennraum strömungsverbunden ist, wobei Kraftstoff-/Luftgemisch über eine in der Vorkammer mündende erste Zündquelle und über eine außerhalb der Vorkammer in den Brennraum einmündende zweite Zündquelle gezündet wird, wobei das in der Vorkammer gezündete Kraftstoff-/Luftgemisch als Brennfackel über die zumindest eine Überströmöffnung in den Brennraum strömt, wobei der Kraftstoff über eine Einspritzeinrichtung in den Brennraum eingespritzt wird, sich mit Luft vermischt, und das Kraftstoff-Luftgemisch vom Brennraum in die Vorkammer strömt, und wobei in einem zweiten Betriebsbereich das Kraftstoff-/Luftgemisch durch die erste Zündquelle in der Vorkammer gezündet wird, und in einem dritten Betriebsbereich das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum gleichzeitig oder nacheinander durch die erste Zündquelle in der Vorkammer und durch die zweite Zündquelle im Brennraum gezündet werden.

**[0002]** Die EP 3 453 856 A1 beschreibt eine Brennkraftmaschine mit einer in einen Brennraum mündenden Vorkammer, wobei eine erste Zündeinrichtung in der Vorkammer angeordnet ist. Eine zweite Zündeinrichtung mündet außerhalb der Vorkammer in den Brennraum ein. Weiters mündet eine Einspritzeinrichtung seitlich in den Brennraum ein. Dabei wird die Brennkraftmaschine in einem Betriebsbereich mit beiden aktiven Zündeinrichtungen und in einem im Last/Drehmoment - Drehzahl - Diagramm darüber liegenden anderen Betriebsbereich nur mit der in der Vorkammer angeordneten ersten Zündeinrichtung betrieben.

**[0003]** Aus der JP 2007 170 310 A ist eine Brennkraftmaschine mit einer Zündeinrichtung aufweisenden Vorkammer bekannt, wobei eine zweite Zündeinrichtung zentral in einen Brennraum einmündet. Die Vorkammer ist dezentral angeordnet und mit dem Brennraum über ein Ventil verbindbar.

**[0004]** Die JP S55 101 719 A offenbart eine Brennkraftmaschine mit einer integral mit einer Zündkerze ausgebildeten Vorkammer, die über zumindest eine Öffnung mit einem Brennraum verbunden ist.

**[0005]** Aus der US 2017/089252 A1 ist eine Brennkraftmaschine mit einem Zylinderkopf bekannt, in welchem eine in eine Brennkammer mündende Vorkammer angeordnet ist. Sowohl in den Brennraum, als auch in die Vorkammer mündet jeweils eine Zündkerze. Weiters mündet in die Vorkammer eine Einspritzeinrichtung.

**[0006]** Die Veröffentlichungen DE 10 2017 125 946 A1, US 2017/089252 A1, WO 14/117177 A1, WO 07/118068 A2, US 8,006,666 B2, US 6,055,954 A, US 6,095,111 A offenbaren ähnliche Zylinderköpfe mit zwei Zündkerzen, von denen jeweils eine in einer Vorkammer und die zweite außerhalb der Vorkammer angeordnet ist.

**[0007]** Weiters zeigt die US 6,948,474 B2 eine Brennkraftmaschine mit einem Zylinderkopf mit einer seitlich im Zylinder angeordneten Einspritzeinrichtung und einer zentral im Bereich der Zylinderachse angeordneten Zündkerze. Der Vorteil einer Vorkammerzündung ist, dass bei insbesondere hohen Motorlasten durch das Ausströmen von Brennfackeln aus der Vorkammer in den Hauptbrennraum das Gemisch im Hauptbrennraum sehr schnell entflammt wird. Es kommt zu einer schnellen Flammenausbreitung insbesondere in nahe am Brennraumrand liegende Zonen. Insbesondere im Bereich des Brennraumrandes am Zylinderumfang kommt es zu Klopferscheinungen, wenn sich das durch die Verbrennung verdichtete Gemisch selbst entzündet.

**[0008]** Als Brennfackeln werden entflammte Gemischteile bezeichnet, welche durch die Überströmöffnungen von der Vorkammer in den Brennraum strömen.

**[0009]** Die Turbulenz in der Vorkammer, sowie die absolute Ladungsmasse ist relativ niedrig, der Restgasgehalt in der Vorkammer ist relativ hoch. Dadurch wird das Entflammen in der Vorkammer und das Ausströmen der Brennfackeln aus der Vorkammer erschwert.

**[0010]** Der Nachteil einer Vorkammerzündung - insbesondere bei einer passiven Vorkammer - ist an sich, dass bei kleinen Motorlasten, im Start und im Katheizmodus die Verbrennung instabil ist. Im Start- und Katheizmodus wird zur Erzielung von hohen Abgastemperaturen ein später Zündwinkel eingestellt.

**[0011]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung mit geringem Aufwand die Verbrennung zu verbessern, Klopfen zu vermeiden und die Emissionen zu verringern.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die Einspritzeinrichtung mehrere Einspritzstrahlen aufweist, wobei - in Richtung der Zylinderachse betrachtet - zumindest zwei Einspritzstrahlen auf einen Bereich beidseits der Mündung der Vorkammer und/oder Mündung der zweiten Zündquelle gerichtet sind, und/oder wobei - in Richtung der Zylinderachse betrachtet - zumindest ein Einspritzstrahl auf einen Bereich in Richtung der Mündung der Vorkammer und/oder Mündung der zweiten Zündquelle gerichtet ist.

**[0013]** Der Abstand der Mündung der Einspritzeinrichtung vom Brennraumrand ist in einer Ausführungsvariante der Erfindung kleiner als 0,3mal dem Bohrungshalbmesser des Zylinders, vorzugsweise kleiner als 0,25-mal dem Bohrungshalbmesser, besonders vorzugsweise kleiner als 0,2-mal dem Bohrungshalbmesser.

**[0014]** Vorzugsweise ist die Vorkammer als passive Vorkammer ausgebildet. Passive Vorkammern weisen keine Einspritzeinrichtungen auf. Bei einer passiven Vorkammerzündung gelangt das Gemisch während des Kompressionshubs durch die Überströmöffnungen in die Vorkammer und wird von der darin befindlichen Zündquelle entzündet. Im Vergleich zu einer aktiven Vorkammer, bei der ein Injektor zur Einbringung von Luft, Kraftstoff oder eines Kraftstoff-/Luftgemisches in die Vorkammer einmündet, welcher insbesondere zusätzlich zu einer in den Brennraum mündenden Haupteinspritzeinrichtung vorgesehen ist, ist eine passive Vorkammer konstruktiv einfacher und kostengünstiger, da pro Zylinder nur eine einzige Einspritzeinrichtung vorgesehen werden muss, welche direkt in den Brennraum oder in ein Ansaugrohr einmündet. Eine rasche Verbrennung und eine platzsparende Anordnung kann erreicht werden, wenn die Vorkammer und/oder die zweite Zündquelle in einem zentralen Bereich des Brennraumes, vorzugsweise im Bereich der Zylinderachse, angeordnet ist.

**[0015]** Eine konstruktiv einfache Ausführung der Erfindung sieht vor, dass die Mündung der Einspritzeinrichtung auf der Einlassseite, vorzugsweise in einer durch die Zylinderachse verlaufenden Motorquerebene, angeordnet ist. Die Einspritzeinrichtung ist dabei auf die Auslassseite gerichtet. Besonders platzsparend ist es, wenn die Mündung der Einspritzeinrichtung zwischen zwei Einlassventilöffnungen angeordnet ist.

**[0016]** Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Mündungen der Vorkammer und der zweiten Zündeinrichtung in einer durch die Zylinderachse verlaufenden Zündebene, angeordnet sind. Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung ist die Zündebene durch eine Motorquerebene der Brennkraftmaschine gebildet. In einer alternativen Ausführung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Zündebene durch eine Motorlängsebene der Brennkraftmaschine gebildet ist.

**[0017]** Eine besonders kompakte Bauweise lässt sich erzielen, wenn die Vorkammer und die erste Zündquelle durch eine Vorkammerzündkerze gebildet sind.

**[0018]** Eine besonders gute Verbrennung mit niedrigen Emissionen lässt sich erreichen, wenn die Einspritzstrahlen einen definierten ersten Mindestabstand  $a$  zu den Mündungen der Vorkammer und/oder der zweiten Zündquelle aufweisen, welcher Mindestabstand 5% bis 30%, vorzugsweise 10% bis 20% des Durchmessers des Zylinders beträgt.

**[0019]** Die Vorkammer ist vorteilhafter Weise über zumindest zwei, vorzugsweise sechs, Überströmöffnungen für jeweils eine Brennfackel mit dem Brennraum verbunden.

**[0020]** Die Brennfackeln sind auf jene Orte im Brennraum ausgerichtet, die zu klopfender Ver-

brennung neigen. Vorzugsweise sind das zumindest die Auslass- und die Einlassseite. Weitere Brennfackeln sind auf die Seite des Brennraumes ausgerichtet. Ist eine Brennfackel direkt in Richtung der zweiten Zündquelle ausgerichtet, so ist die Brennfackel von der zweiten Zündquelle beabstandet um ein Beschädigen der zweiten Zündquelle zu verhindern.

**[0021]** Die Brennfackeln sind in einem Zylinderschnitt so angeordnet, dass sie auch zu den Einlass- und Auslassventilen beabstandet sind. Der Abstand der Brennfackeln von der zweiten Zündquelle und zu den Einlass- und Auslassventilen beträgt mindestens 1 mm, vorzugsweise >1,5 mm.

**[0022]** Besonders vorzugsweise sind zumindest zwei Brennfackeln in dem Zylinderschnitt annähernd parallel zu einer Ebene angeordnet, welche durch die Ventilachsen eines Einlassventiles und eines Auslassventiles aufgespannt wird.

**[0023]** Dadurch lässt sich ein rasches Verbrennen des Kraftstoff-/Luftgemisches erreichen.

**[0024]** Weiters vorteilhaft für den Brennverlauf ist es, wenn - in Richtung der Zylinderachse betrachtet - die Mitten der Mündung der Vorkammer und der Mündung der zweiten Zündquelle in einer Entfernung voneinander angeordnet sind, welche 10% bis 35%, vorzugsweise 20% bis 30%, des halben Bohrungsdurchmessers des Zylinders beträgt.

**[0025]** Gemäß einer Ausführung der Erfindung ist weiters vorgesehen, dass die Mündung der Vorkammer und die Mündung der zweiten Zündquelle an unterschiedlichen Seiten einer durch die Zylinderachse verlaufenden Mittelebene angeordnet sind. Im vorliegenden Fall wird der Kraftstoff über die direkt in den Brennraum mündende Einspritzeinrichtung zugeführt. Zusätzlich kann eventuell noch zumindest eine Saugrohreinspritzeinrichtung vorgesehen sein.

**[0026]** Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung beträgt das Volumen der Vorkammer maximal 2,5%, vorzugsweise maximal 2%, besonders vorzugsweise maximal 1,5% des Schadraumes des Brennraumes. Der Schadraum des Brennraumes ist das Volumen des jeweiligen Zylinders zwischen der Brennraumdeckfläche des Zylinderkopfes und dem Kolben bei Stellung des Kolbens in seinem oberen Totpunkt.

**[0027]** Durch eine besondere Formgebung der Vorkammer kann die Verbrennung verbessert werden. Um eine rasche Verbrennung zu ermöglichen ist es vorteilhaft, wenn die Vorkammer fünf in Richtung der Längsachse der Vorkammer aufeinander folgende Sektoren mit unterschiedlichen geometrischen Formen aufweist, wobei

- die Vorkammer in einem der ersten Zündquelle am nächsten liegenden ersten Sektor eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer aufweist,

- in Richtung zum Brennraum hin axial an den ersten Sektor anschließend ein zweiter Sektor ausgebildet ist, welcher einen Übergang zwischen dem ersten Sektor und einem dritten Sektor bildet, wobei

- die Innenwand der Vorkammer im zweiten Sektor einen konkav geformten Übergangsradius aufweist,

- die Vorkammer im dritten Sektor eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer aufweist, wobei die Innenwand der Vorkammer im dritten Sektor mit der Längsachse der Vorkammer einen Winkel größer 0 einschließt,

- in Richtung zum Brennraum hin axial an den dritten Sektor anschließend ein vierter Sektor ausgebildet ist, welcher einen Übergang zwischen dem dritten Sektor und einem fünften Sektor bildet, wobei die Innenwand der Vorkammer im vierten Sektor einen konvex geformten Übergangsradius aufweist,

- zumindest der erste Sektor und der fünfte Sektor Querschnitte mit in Umfangsrichtung im wesentlichen konstante Durchmesser aufweisen, wobei das Verhältnis des Durchmessers des ersten Sektors zum Durchmesser des fünften Sektors 1:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2 - 1:4, besonders vorzugsweise 1:2,2 - 1:3 beträgt, wobei die Durchmesser jeweils in einer Normalebene auf die Längsachse der Vorkammer gemessen werden, und wobei

- das Verhältnis  $h_1 : h_5$  der parallel zur Längsachse der Vorkammer gemessenen Höhen des

ersten Sektors und des fünften Sektor 0,2:1 bis 5:1, vorzugsweise 0,5:1 - 3:1, besonders vorzugsweise 0,7:1 - 1,2:1, beträgt. In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung beträgt der Übergangsradius des zweiten Sektors zwischen dem ersten Sektor und dem dritten Sektor und/oder der Übergangsradius des vierten Sektors zwischen dem dritten Sektor und dem fünften Sektor 1 bis 15 mm, vorzugsweise 3 bis 12 mm, besonders vorzugsweise 4 bis 7 mm. Der Winkel zwischen der Innenwand der Vorkammer im dritten Sektor und der Längsachse der Vorkammer kann insbesondere 3° bis 85°, vorzugsweise 10° - 60°, besonders vorzugsweise 25° - 35° betragen.

**[0028]** Die Innenwände der Vorkammer können drehsymmetrisch ausgebildet sein.

**[0029]** Durch eine derartige Formgebung der Vorkammer kann eine gute Ladungsbewegung in der Vorkammer generiert und dadurch die Zündbedingungen verbessert werden.

**[0030]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Vorkammer in Ergänzung zu einem Hauptvolumen ein - vorzugsweise räumlich von diesem getrenntes - Nebenvolumen aufweist, wobei besonders vorzugsweise Hauptvolumen und Nebenvolumen durch zumindest einen Übertrittskanal miteinander strömungsverbunden sind. Bevorzugt ist das Nebenvolumen ist Richtung der Längsachse der Vorkammer vom Hauptvolumen beabstandet, wobei vorzugsweise zumindest ein Übertrittskanal im Wesentlichen parallel zur Längsachse der Vorkammer und/oder parallel zur Längsachse der ersten Zündquelle verläuft. Das Hauptvolumen und das Nebenvolumen sind in einer Ausführungsvariante der Erfindung in einer Vorkammerzündkerze angeordnet, wobei zumindest ein Übertrittskanal zwischen Hauptvolumen und Nebenvolumen im Gehäuse der Vorkammerzündkerze - in Bezug auf die Längsachse der ersten Zündquelle - radial außerhalb eines Gewindes der ersten Zündquelle angeordnet ist. Das Nebenvolumen ist bevorzugt als Ringraum ausgebildet und weist einen Rauminhalt auf, welcher das 0,05 bis 0,8-fache, vorzugsweise das 0,075 - 0,4-fache, besonders vorzugsweise das 0,1 bis 0,3-fache des Hauptvolumens der Vorkammer beträgt.

**[0031]** In einer Ausführung der Erfindung ist weiters vorgesehen, dass zumindest eine Überströmöffnung von der Vorkammer in den Brennraum eine Länge von 2 mm - 20 mm und einen Durchmesser von 0,1 mm - 3 mm aufweist, wobei vorzugsweise zumindest eine Übertrittsöffnung ist annähernd zylindrische Form aufweist.

**[0032]** Auf eine gezielte Kühlung der Vorkammer und der ersten Zündquelle kann verzichtet werden, wenn die Wände der Vorkammer aus einer Kupfer-, Nickel-, Chrom-, Wolfram- oder Silizium-Legierung bestehen.

**[0033]** Das Kraftstoff-/Luftgemisch wird im größten Teil des Betriebskennfeldes über eine in der Vorkammer angeordnete erste Zündquelle gezündet, wobei das in der Vorkammer gezündete Kraftstoff-/Luftgemisch als Brennfackel über die zumindest eine Überströmöffnung in den Brennraum strömt.

**[0034]** In bestimmten Betriebsbereichen - vorzugsweise Kaltstart, Niedriglast und Katheizbetrieb - wird das Gemisch über eine außerhalb der Vorkammer in den Brennraum einmündende zweite Zündquelle gezündet wird.

**[0035]** Der Kraftstoff wird über die - bevorzugt seitlich direkt in den Brennraum mündende - Einspritzeinrichtung in den Brennraum eingespritzt, vermischt sich dort mit der während des Einlasstaktes dem Brennraum zugeführten Luft. Während des Kompressionshubes strömt das Kraftstoff-Luftgemisch vom Brennraum in die Vorkammer. Alternativ zu einer direkten Einspritzung in den Brennraum kann auch eine Einspritzung des Kraftstoffes in das Saugrohr erfolgen. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren ist vorgesehen, dass

- in einem ersten Betriebsbereich das Kraftstoff-/Luftgemisch durch die zweite Zündquelle im Brennraum gezündet wird, und

- der Kraftstoff durch die Einspritzeinrichtung in mehreren Einspritzstrahlen in den Brennraum eingespritzt wird, wobei - in Richtung der Zylinderachse betrachtet - zumindest zwei Einspritzstrahlen auf einen Bereich beidseits der Mündung der Vorkammer und/oder Mündung der zweiten Zündquelle gerichtet werden, und/oder wobei - in Richtung der Zylinderachse betrachtet - zumin-

dest ein Einspritzstrahl auf einen Bereich in Richtung der Mündung der Vorkammer und/oder Mündung der zweiten Zündquelle gerichtet wird.

**[0036]** Eine Ausführungsvariante der Erfindung sieht vor, dass der erste Betriebsbereich dem Kaltstart und/oder dem Katalysatorheizbetrieb und/ oder dem Leerlaufbereich zugeordnet wird.

**[0037]** Weiters kann vorgesehen sein, dass der zweite Betriebsbereich dem oberen Teillastbereich und/oder dem Vollastbereich zugeordnet wird.

**[0038]** Vorzugsweise wird der dritte Betriebsbereich dem Leerlaufbereich und/oder einem vorzugsweise leerlaufnahen Teillastbereich zugeordnet.

**[0039]** Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung werden im dritten Betriebsbereich das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum gleichzeitig durch die erste Zündquelle in der Vorkammer und durch die zweite Zündquelle im Brennraum gezündet.

**[0040]** Alternativ dazu vorgesehen sein, dass im dritten Betriebsbereich das Kraftstoff- /Luftgemisch in der Vorkammer und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum nacheinander durch die erste Zündquelle in der Vorkammer und durch die zweite Zündquelle im Brennraum gezündet werden, wobei vorzugsweise die erste Zündquelle bis zu 10° Kurbelwinkel, besonders vorzugsweise bis zu 5° Kurbelwinkel, vor der zweiten Zündquelle zündet.

**[0041]** Die zweite Zündquelle wird vorteilhafter Weise - insbesondere bei der Verwendung von externer Abgasrückführung - zur Unterstützung der Entflammung verwendet.

**[0042]** Die Erfindung wird im Folgenden an Hand der nicht einschränkenden Figuren näher erläutert. Darin zeigen:

**[0043]** Fig. 1 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer ersten Ausführungsvariante während der Kraftstoffeinspritzung in einem Schnitt gemäß der Linie I - I in Fig. 2,

**[0044]** Fig. 2 diese Brennkraftmaschine in einem Schnitt gemäß der Linien II - II in Fig. 1,

**[0045]** Fig. 2a die Brennkraftmaschine in einer ersten Ausführungsvariante in einem Schnitt analog zu Fig. 2,

**[0046]** Fig. 3 diese Brennkraftmaschine in einem Schnitt analog zu Fig. 1 während einer Verbrennungsphase,

**[0047]** Fig. 4 diese Brennkraftmaschine in einem Schnitt analog zu Fig. 2 oder 2a während dieser Verbrennungsphase,

**[0048]** Fig. 5 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer dritten Ausführungsvariante während der Kraftstoffeinspritzung in einem Schnitt gemäß der Linie V - V in Fig. 6,

**[0049]** Fig. 6 diese Brennkraftmaschine in einem Schnitt gemäß der Linien VI - VI in Fig. 5,

**[0050]** Fig. 7 eine erfindungsgemäße Brennkraftmaschine in einer vierten Ausführungsvariante während der Kraftstoffeinspritzung in einem Schnitt gemäß der Linie VII - VII in Fig. 8,

**[0051]** Fig. 8 diese Brennkraftmaschine in einem Schnitt gemäß der Linien VIII - VIII in Fig. 7,

**[0052]** Fig. 9 ein Last-Drehzahl Kennfeld der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine,

**[0053]** Fig. 10 eine Vorkammerzündkerze der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine in einer Ausführungsvariante in einem Längsschnitt,

**[0054]** Fig. 11 das Detail XI aus Fig.10,

- [0055]** Fig. 12 eine Vorkammerzündkerze in einer weiteren Ausführungsvariante in einem Längsschnitt,
- [0056]** Fig. 13 diese Vorkammerzündkerze in einem Schnitt gemäß der Linie XIII - XIII in Fig. 12 und
- [0057]** Fig. 14 diese Vorkammerzündkerze in einer axonometrischen Kerndarstellung.
- [0058]** Gleiche Teile sind in den Ausführungsvarianten mit gleichen Bezugszeichen versehen.
- [0059]** Die Brennkraftmaschine 1 weist einen Zylinderkopf 2 für zumindest einen Zylinder 3 auf, in welche ein hin- und hergehender Kolben 4 angeordnet ist. Der Zylinderkopf 2 bildet eine dachförmige Brennraumdeckfläche 5 aus, welche zusammen mit der eine Kolbenmulde 6a ausbildenden Kolbenoberfläche 6 einen Brennraum 7 begrenzt. In der Brennraumdeckfläche 5 sind zwei Einlassventilöffnungen 8a, 8b für Einlasskanäle und zwei Auslassventilöffnungen 9a, 9b für Auslassventilöffnungen angeordnet.
- [0060]** Im Zylinderkopf 2 ist seitlich eine Einspritzeinrichtung 10 zur direkten Kraftstoffeinspritzung in den Brennraum 7 angeordnet. Weiters mündet in einen zentralen Bereich des Brennraumes 7 eine passive Vorkammer 11 ein, wobei die Vorkammer 11 eine erste Zündquelle 13 aufweist. Passive Vorkammern 11 weisen keine Einspritzeinrichtung, sondern nur eine Zündquelle auf.
- [0061]** Die Vorkammer 11 ist in den dargestellten Ausführungsbeispielen über mehrere - insbesondere sechs sternartig angeordnete (siehe Fig. 4) - Überströmöffnungen 14 mit dem Brennraum 7 strömungsverbunden.
- [0062]** In den dargestellten Ausführungsbeispielen ist die Vorkammer 11 und die erste Zündquelle 13 als Vorkammerzündkerze 12 ausgebildet.
- [0063]** Weiters mündet in den Brennraum 7 eine zweite Zündquelle 15 ein, welche bevorzugt durch eine Standardzündkerze gebildet sein kann.
- [0064]** Die Vorkammer 11 und die zweite Zündquelle 15 sind zentral in der Brennraumdeckfläche 5 unmittelbar im Bereich der Zylinderachse 3a an verschiedenen Seiten einer durch die Zylinderachse 3a verlaufenden Mittelebene 16 angeordnet. Die Mündungen der Vorkammer 11 und der zweiten Zündquelle 15 sind in einer durch die Zylinderachse 3a verlaufenden Zündebene 17 angeordnet, welche normal zur Mittelebene 16 ausgebildet ist. Bei den in den Figuren 1 bis 6 dargestellten Ausführungen ist die Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 ebenfalls im Bereich der Zündebene 17 angeordnet. Die Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 befindet sich nahe dem Zylinderrand 3b seitlich in der Brennraumdeckfläche 5 zwischen den zwei Einlassventilöffnungen 8a, 8b. Die Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 weist dabei eine Vielzahl an Einspritzöffnungen 14 auf.
- [0065]** In Richtung der Zylinderachse 3a betrachtet sind die Mitte der Mündung 11a der Vorkammer 11 und der Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 in einer Entfernung  $e$  voneinander angeordnet sind, welche zwischen 5% und 20%, vorzugsweise 10%, des Durchmessers des Zylinders beträgt. Die Mitten der Mündung 11a der Vorkammer und der Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 sind in einem zentralen Bereich  $k$  des Brennraumes 7 angeordnet. Der zentrale Bereich  $k$  ist dabei - in Richtung der Zylinderachse 3a betrachtet - durch einen Kreis um die Zylinderachse 3a definiert, dessen Radius der minimalen Entfernung der Einlassventilöffnungen 8a, 8b und/oder Auslassventilöffnungen 9a, 9b von der Zylinderachse 3a entspricht. Der Kreis  $k$  liegt also zwischen der Zylinderachse 3a und den Einlassventilöffnungen 8a, 8b und Auslassventilöffnungen 9a, 9b (siehe Fig. 2, 4, 6, 8).
- [0066]** Der Abstand  $f$  zwischen der Mitte der Mündung 11a der Vorkammer 11 und der Mittelebene 16 ist dabei bevorzugt kleiner als 0,2-mal dem halben Bohrungsdurchmesser  $B$  des Zylinders 3. Ebenso beträgt der Abstand  $g$  zwischen der Mitte der Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 und der Mittelebene 16 bevorzugt weniger als 0,2-mal dem halben Bohrungsdurchmesser  $B$ .

**[0067]** Bei der ersten Ausführungsvariante (Fig. 1 bis 4) und zweiten Ausführungsvariante (Fig. 5 und 6) wird die Zündebene 17 durch eine die Zylinderachse 3a beinhaltende Motorquerebene gebildet, die Mittelebene 16 befindet sich im Bereich der Motorlängsebene der Brennkraftmaschine 1.

**[0068]** Die Figuren 1 bis 4 zeigen eine erste Ausführungsvariante und eine zweite Ausführungsvariante der Erfindung, bei denen jeweils die Mündung 11a der Vorkammer 11, die Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 und die Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 im Bereich der Zündebene 17 angeordnet sind, wobei die zweite Zündquelle 15 zwischen der Mündung 11a der Vorkammer 11 und der Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 angeordnet ist. Wie aus Fig. 1 und 2 ersichtlich ist, wird durch die Einspritzeinrichtung 10 Kraftstoff in Richtung der Kolbenmulde 6a des Kolbens 4 in mehreren Einspritzstrahlen 18 eingespritzt. In Richtung der Zylinderachse 3a betrachtet, sind in der ersten Ausführungsvariante der Erfindung zumindest zwei Einspritzstrahlen 18 auf einen Bereich beidseits der Mündung 11a, 15a der Vorkammer 11 und/oder der zweiten Zündquelle 15 gerichtet (Fig. 2). In der in Fig. 2a dargestellten zweiten Ausführungsvariante ist ein Einspritzstrahl 18 auf einen Bereich in Richtung der Mündung 11a der Vorkammer 11 und/oder Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 gerichtet. Die Einspritzstrahlen 18 weisen einen definierten ersten Mindestabstand  $a$  (Fig. 1, 3, 7) zu den Mündungen 11a, 15a der Vorkammer 11 und/oder der zweiten Zündquelle 15 auf, welcher erste Mindestabstand  $a$  zwischen 5% und 20%, insbesondere 10% des Bohrungsdurchmessers  $B$  des Zylinders 3 beträgt.

**[0069]** Aus den Fig. 3 und 4 geht deutlich hervor, dass die Vorkammer 11 über zumindest zwei Überströmöffnungen 14 für jeweils eine Brennfackel 19 mit dem Brennraum 7 verbunden ist. In Richtung der Zylinderachse 3a betrachtet ist zumindest eine Brennfackel 19 auf die zweite Zündquelle 15 gerichtet (Fig. 4). Die Brennfackeln 19 weisen einen definierten zweiten Mindestabstand  $b$  zur zweiten Zündquelle 15 auf (Fig. 3).

**[0070]** Die in Fig. 5 und 6 gezeigte dritte Ausführungsvariante der Erfindung unterscheidet sich von der ersten Ausführungsvariante dadurch, dass die Mündung 15a der zweiten Zündquelle 15 zwischen der Mündung 11a der Vorkammer 11 und der Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 angeordnet ist.

**[0071]** Bei der in Fig. 7 und 8 dargestellten vierten Ausführungsvariante der Erfindung wird die Zündebene 17 durch eine die Zylinderachsen 3a aufgespannte Motorlängsebene gebildet. Die Mittelebene 16 wird durch eine durch die Zylinderachse 3a verlaufende Motorquerebene gebildet, welche normal zur Zündebene 17 verläuft. Die Mündung 10a der Einspritzeinrichtung 10 befindet sich im Bereich der Mittelebene 16.

**[0072]** Der Kraftstoff wird über die seitlich angeordnete Einspritzeinrichtung 10 direkt in den Brennraum 7 eingespritzt und vermischt sich mit der dort vorhandenen Luft.

**[0073]** Bei der verwendeten passiven Vorkammerzündung gelangt das Gemisch während des Kompressionshubs durch diese Überströmöffnungen 14 in die Vorkammer 11 und wird von der darin befindlichen ersten Zündquelle 13 entzündet. Das in der Vorkammer 11 gezündete Kraftstoff-/Luftgemisch strömt als Brennfackel 19 über die zumindest eine Überströmöffnung 14 in den Brennraum 7.

**[0074]** Außerhalb der Vorkammer 11 wird das Kraftstoff-/Luftgemisch über die in den Brennraum 7 einmündende zweite Zündquelle 15 gezündet. Die zweite Zündquelle 15 kann insbesondere bei der Verwendung von externer Abgasrückführung zur Unterstützung der Entflammung verwendet werden.

**[0075]** Fig. 9 zeigt ein Motorkennfeld der erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine, wobei die Last  $L$  über der Drehzahl  $n$  aufgetragen sind. Im Motorkennfeld sind ein erster Betriebsbereich A, ein zweiter Betriebsbereich B und ein dritter Betriebsbereich C eingezeichnet. Der erste Betriebsbereich A ist dem Kaltstart und/oder dem Katalysatorheizbetrieb und/oder dem Leerlaufbereich zugeordnet. Der zweite Betriebsbereich B ist dem oberen Teillastbereich und/oder dem Vollastbereich zugeordnet. Der dritte Betriebsbereich C ist dem Leerlaufbereich und/oder einem vorzugsweise leerlaufnahen Teillastbereich zugeordnet.

**[0076]** Im ersten Betriebsbereich A wird das Kraftstoff-/Luftgemisch durch die zweite Zündquelle 15 im Brennraum 7 gezündet. Im zweiten Betriebsbereich B wird das Kraftstoff-/Luftgemisch durch die erste Zündquelle 13 in der Vorkammer 11 gezündet.

**[0077]** Im dritten Betriebsbereich C werden das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer 11 und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum 7 nacheinander durch die erste Zündquelle 13 in der Vorkammer 11 und durch die zweite Zündquelle 15 im Brennraum 7 gezündet. Dies kann gleichzeitig oder phasenversetzt erfolgen, wobei bevorzugt die erste Zündquelle 13, vorzugsweise  $0^\circ$  bis zu  $5^\circ$  Kurbelwinkel, vor der zweiten Zündquelle 15 zündet.

**[0078]** Insbesondere wird im dritten Betriebsbereich C über eine externe, insbesondere gekühlte, Abgasrückführung Abgas rückgeführt. Da es hierbei vorkommen kann, dass der Restgasgehalt in der Vorkammer 11 über dem Restgasgehalt im Brennraum 7 liegt, ist es besonders vorteilhaft, in diesem dritten Betriebsbereich C sowohl mit der ersten Zündquelle 13, als auch mit der zweiten Zündquelle 15 zu zünden.

**[0079]** In vorteilhafter Weise sind die Wände der Vorkammer 11 aus Kupfer-, Nickel-, Chrom-, Wolfram- oder Silizium-Legierungen ausgeführt. Hierdurch kann auf eine gezielte Kühlung der Vorkammer 11 und der ersten Zündquelle 13 verzichtet werden.

**[0080]** Fig. 10 und 11 zeigen eine die Vorkammer 11 ausbildende Vorkammerzündkerze 12, welche eine erste Zündquelle 13 aufweist, die über ein Gewinde 20 - insbesondere M8 oder M10 - in ein Gehäuse 21 der Vorkammerzündkerze 12 eingeschraubt ist. Die erste Zündquelle 13 kann bevorzugt eine handelsübliche Zündkerze sein.

**[0081]** Die Elektroden 21 der ersten Zündquelle 13 münden zentral - also im Bereich der Längsachse 11b der Vorkammer 11 - in die Vorkammer 11 ein. Die Vorkammer 11 wird durch einen brennraumseitigen Wandbereich 23 des Gehäuses 21 gebildet. Der Wandbereich 23 weist ein Außengewinde 24 auf, über welches die Vorkammerzündkerze 12 im Zylinderkopf 2 befestigt ist.

**[0082]** Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung beträgt das Volumen der Vorkammer 11 maximal 2,5%, vorzugsweise maximal 2%, besonders vorzugsweise maximal 1,5% des Schadraumes des Brennraumes 7.

**[0083]** Der Schadraum des Brennraumes 7 ist das Volumen des jeweiligen Zylinders 3 zwischen der Brennraumdeckfläche 5 des Zylinderkopfes 2 und dem Kolben 4 bei Stellung des Kolbens 4 in seinem oberen Totpunkt.

**[0084]** Das absolute Volumen der Vorkammer 11 beträgt insbesondere  $250 \text{ mm}^3$  bis  $1000 \text{ mm}^3$ , vorzugsweise  $400 - 800 \text{ mm}^3$ , besonders vorzugsweise  $350 - 600 \text{ mm}^3$ .

**[0085]** Wie aus den Fig. 10 und 11 ersichtlich ist, weist die Vorkammer 11 der Vorkammerzündkerze 12 eine spezielle Form des Innenraumes auf. Die Form wird beschrieben durch eine Abfolge von fünf Sektoren S1 bis S5 des Innenraumes.

**[0086]** Der erste Sektor S1 weist eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer 11 auf.

**[0087]** Der zweite Sektor S2 bildet einen Übergang zwischen dem ersten Sektor S1 und dem dritten Sektor S3. Im Ausführungsbeispiel ist die Innenwand der Vorkammer 11 im zweiten Sektor 2 konkav geformt und mit einem Übergangsradius  $r_2$  ausgebildet.

**[0088]** Der dritte Sektor S3 weist eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer 11 auf.

**[0089]** Der vierte Sektor S4 bildet einen Übergang zwischen dem dritten Sektor S3 und dem fünften Sektor S3. Im Ausführungsbeispiel ist die Innenwand der Vorkammer 11 im vierten Sektor 2 konvex geformt und mit einem Übergangsradius  $R_4$  ausgebildet.

**[0090]** Das Verhältnis der Durchmesser  $d_1:d_5$  zwischen den Innenwänden der Sektoren S1 und S5 beträgt insbesondere 1:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2 - 1:4, besonders vorzugsweise 1:2,2 - 1,3. Die Durchmesser  $d_1$ ,  $d_5$  werden jeweils in einer Normalebene auf die Längsachse 11b der Vor-

kammer 11 gemessen.

**[0091]** Das Verhältnis der Höhen  $h_1$ :  $h_5$  der Sektoren 1 und 5 beträgt insbesondere 0,2:1 bis 5:1, vorzugsweise 0,5:1 - 3:1 besonders vorzugsweise 0,7:1 - 1,2:1. Die Höhen  $h_1$ ,  $h_5$  werden jeweils parallel zur Längsachse 11b der Vorkammer 11 gemessen.

**[0092]** Der Winkel  $\beta$  zur Längsachse 11b der Vorkammer 11 des Sektors S3 beträgt  $3^\circ$  bis  $85^\circ$ , vorzugsweise  $10^\circ$  -  $60^\circ$ , besonders vorzugsweise  $25^\circ$  -  $35^\circ$ .

**[0093]** Der Übergangsradius  $r_2$  im zweiten Sektor S2 zwischen dem ersten Sektor S1 und dem dritten Sektor S3 beträgt bevorzugt 1 bis 15 mm, vorzugsweise 3 bis 12 mm, besonders vorzugsweise 4 bis 7 mm.

**[0094]** Der Übergangsradius  $r_4$  im vierten Sektor S4 zwischen dem dritten Sektor S3 und dem fünften Sektor S5 beträgt insbesondere 1 bis 15 mm, vorzugsweise 3 bis 12 mm, besonders vorzugsweise 4 bis 7 mm.

**[0095]** Wie in den Fig. 12 bis 13 gezeigt ist, kann die Innenform der Vorkammer 11 in Ergänzung zu einem Hauptvolumen V1 ein Nebenvolumen V2 aufweisen, in welches Restgas im Verdichtungstakt verdrängt werden kann. Das Nebenvolumen V2 ist vom Hauptvolumen V1 räumlich getrennt und durch Übertrittskanäle 25 mit dem Hauptvolumen V1 strömungsverbunden. Wie insbesondere in Fig. 14 gezeigt ist verlaufen die Übertrittskanäle 25 außerhalb des Gewindes 20 der ersten Zündquelle 13 parallel zur Längsachse 11b der Vorkammer 11 bzw. parallel zur Längsachse 13a der ersten Zündquelle 13. In Fig. 14 sind als inverse Darstellung nur die durch das Gehäuse 21 ausgebildeten Hohlräume des Hauptvolumens V1 und des Nebenvolumens V2, sowie die vier gleichmäßig über den Umfang verteilt angeordneten Übertrittskanäle 25 dargestellt.

**[0096]** Das Nebenvolumen V2 ist als Ringraum ausgebildet und weist einen Rauminhalt auf, welcher insbesondere das 0,05 bis 0,8 fache des Hauptvolumens V1 beträgt. Vorzugsweise beträgt das Nebenvolumen V2 das 0,075 - 0,4 fache des Hauptvolumens V1 der Vorkammer 11, besonders vorzugsweise das 0,1 bis 0,3 fache des Volumens des Hauptvolumens V1 der Vorkammer 11.

**[0097]** Die Überströmöffnungen 14 vom Hauptvolumen V1 der Vorkammer 11 in den Brennraum 7 weisen eine Länge L von 2 - 20 mm und einen Durchmesser D von 0,1 - 3 mm auf (Fig. 12). Die Form der Übertrittsöffnungen 14 kann vorteilhaft entweder annähernd zylindrisch oder eckig ausgeführt sein.

## Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (1) mit einem Zylinderkopf (2) mit einer Vorkammer (11) pro Zylinder (3), die über zumindest eine Überströmöffnung (14) mit einem Brennraum (7) strömungsverbunden ist, wobei eine erste Zündquelle (13) in die Vorkammer (11) und eine zweite Zündquelle (15) außerhalb der Vorkammer (11) in den Brennraum (7) einmündet, wobei eine Einspritzeinrichtung (10) seitlich in den Brennraum (7) einmündet, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einspritzeinrichtung (10) mehrere Einspritzstrahlen (18) aufweist, wobei - in Richtung der Zylinderachse (3a) betrachtet - zumindest zwei Einspritzstrahlen (18) auf einen Bereich beidseits der Mündung (11a) der Vorkammer (11) und/oder Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) gerichtet sind, und/oder wobei - in Richtung der Zylinderachse (3a) betrachtet - zumindest ein Einspritzstrahl (18) auf einen Bereich in Richtung der Mündung (11a) der Vorkammer (11) und/oder Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) gerichtet ist.
2. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) als passive Vorkammer ausgeführt ist.
3. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) und/oder die zweite Zündquelle (15) in einem zentralen Bereich (k) des Brennraumes (7), vorzugsweise im Bereich einer Zylinderachse (3a) des Zylinders (3), angeordnet ist.
4. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mündung (10a) der Einspritzeinrichtung (10) auf der Einlassseite des Zylinderkopfes (2), vorzugsweise in einer durch die Zylinderachse (3a) verlaufenden Motorquerebene, angeordnet ist.
5. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mündung (10a) der Einspritzeinrichtung (10) im Bereich zwischen zwei Einlassventilöffnungen (8a, 8b) des Zylinderkopfes (2) angeordnet ist.
6. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mündungen (11a) der Vorkammer (11) und die Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) in einer durch die Zylinderachse (3a) verlaufenden Zünderbene (17), angeordnet sind.
7. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zünderbene (17) durch eine Motorquerebene der Brennkraftmaschine (1) gebildet ist.
8. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zünderbene (17) durch eine Motorlängsebene der Brennkraftmaschine (1) gebildet ist.
9. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) und die erste Zündquelle (13) durch eine Vorkammerzündkerze (12) gebildet sind.
10. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einspritzstrahlen (18) einen definierten ersten Mindestabstand (a) zur Mündung (11a) der Vorkammer (11) und/oder zur Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) aufweisen, welcher erste Mindestabstand (a) zwischen 5% und 30%, vorzugsweise 10% bis 20% des Bohrungsdurchmessers (B) des Zylinders (3) beträgt.
11. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) über zumindest zwei Überströmöffnungen (14) für jeweils eine Brennfackel (19) mit dem Brennraum (7) verbunden ist, wobei - in Richtung der Zylinderachse (3a) betrachtet - zumindest eine Brennfackel (19) auf die zweite Zündquelle (15) gerichtet ist, wobei vorzugsweise die zumindest eine Brennfackeln (19) einen definierten zweiten Mindestabstand (b) zur zweiten Zündquelle (15) aufweist, welcher besonders vorzugsweise mindestens 1mm beträgt.

12. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass - in Richtung der Zylinderachse (3a) betrachtet - die Mitten der Mündung (11a) der Vorkammer (11) und der Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) in einer Entfernung (e) voneinander angeordnet sind, welche 10% bis 35%, vorzugsweise 20% bis 30%, des halben Bohrungsdurchmessers (B) des Zylinders (3) beträgt.
13. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mündung (11a) der Vorkammer (11) und die Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) an unterschiedlichen Seiten einer durch die Zylinderachse (3a) verlaufenden Mittel-ebene (16) angeordnet sind.
14. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Volumen der Vorkammer (11) maximal 2,5%, vorzugsweise maximal 2%, besonders vorzugsweise maximal 1,5% des Schadraumes des Brennraumes (7) beträgt.
15. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das absolute Volumen der Vorkammer (11) 250 bis 1000 mm<sup>3</sup>, vorzugsweise 350 - 800 mm<sup>3</sup>, besonders vorzugsweise 400 - 600 mm<sup>3</sup> beträgt.
16. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) fünf in Richtung der Längsachse (11b) der Vorkammer (11) aufeinander folgende Sektoren (S1, S2, S3, S4, S5) mit unterschiedlichen geometrischen Formen aufweist, wobei
  - die Vorkammer (11) in einem der ersten Zündquelle (13) am nächsten liegenden ersten Sektor (S1) eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer (11) aufweist,
  - in Richtung zum Brennraum (7) hin axial an den ersten Sektor (S1) anschließend ein zweiter Sektor (S2) ausgebildet ist, welcher einen Übergang zwischen dem ersten Sektor (S1) und einem dritten Sektor (S3) bildet, wobei
    - die Innenwand der Vorkammer (11) im zweiten Sektor (S2) einen konkav geformten Übergangsradius (R2) aufweist,
    - die Vorkammer (11) im dritten Sektor (S3) eine zylindrische oder konische oder konvexe oder konkave Form der Innenwände der Vorkammer (11) aufweist, wobei die Innenwand der Vorkammer (11) im dritten Sektor (S3) mit der Längsachse (11b) der Vorkammer (11) einen Winkel ( $\beta$ ) größer 0 einschließt,
    - in Richtung zum Brennraum (7) hin axial an den dritten Sektor (S3) anschließend ein vierter Sektor (S4) ausgebildet ist, welcher einen Übergang zwischen dem dritten Sektor (S3) und einem fünften Sektor (S5) bildet, wobei die Innenwand der Vorkammer (11) im vierten Sektor (S4) einen konvex geformten Übergangsradius (r4) aufweist,
    - zumindest der erste Sektor (S1) und der fünfte Sektor (S5) Querschnitte mit in Umfangsrichtung im wesentlichen konstanten Durchmessern (d1, d5) aufweisen, wobei das Verhältnis des Durchmessers (d1) des ersten Sektors (S1) zum Durchmesser (d5) des fünften Sektors (S5) 1:1 bis 1:5, vorzugsweise 1:2,2 - 1:3, besonders vorzugsweise 1:2,5 - 1:3 beträgt, wobei die Durchmesser (d1, d5) jeweils in einer Normalebene auf die Längsachse (11b) der Vorkammer (11) gemessen werden, und wobei das Verhältnis h1: h5 der parallel zur Längsachse (11b) der Vorkammer (11) gemessenen Höhen (h1, h5) des ersten Sektors (S1) und des fünften Sektors (S5) 0,2:1 bis 5:1, vorzugsweise 0,5:1 - 3:1 besonders vorzugsweise 0,7:1 - 1,2:1, beträgt.
17. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Übergangsradius (r2) des zweiten Sektors (S2) zwischen dem ersten Sektor (S1) und dem dritten Sektor (S3) und/oder der Übergangsradius (r4) des vierten Sektors (S4) zwischen dem dritten Sektor (S3) und dem fünften Sektor (S5) 1 bis 15 mm, vorzugsweise 3 bis 12 mm, besonders vorzugsweise 4 bis 7 mm beträgt.

18. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Winkel ( $\beta$ ) zwischen der Innenwand der Vorkammer (11) im dritten Sektor (S3) und der Längsachse (11b) der Vorkammer (11)  $3^\circ$  bis  $85^\circ$ , vorzugsweise  $10^\circ$  -  $60^\circ$ , besonders vorzugsweise  $25^\circ$  -  $35^\circ$  beträgt.
19. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (11) in Ergänzung zu einem Hauptvolumen (V1) ein - vorzugsweise räumlich von diesem getrenntes - Nebenvolumen (V2) aufweist, wobei besonders vorzugsweise Hauptvolumen (V1) und Nebenvolumen (V2) durch zumindest einen Übertrittskanal (25) miteinander strömungsverbunden sind.
20. Brennkraftmaschine nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nebenvolumen (V2) Richtung der Längsachse (11b) der Vorkammer (11) vom Hauptvolumen (V1) beabstandet ist, wobei vorzugsweise zumindest ein Übertrittskanal (25) im Wesentlichen parallel zur Längsachse (11b) der Vorkammer (11) und/oder parallel zur Längsachse (13a) der ersten Zündquelle (13) verläuft.
21. Brennkraftmaschine nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hauptvolumen (V1) und das Nebenvolumen (V2) in einer Vorkammerzündkerze angeordnet sind, wobei zumindest ein Übertrittskanal (25) zwischen Hauptvolumen (V1) und Nebenvolumen (V2) im Gehäuse der Vorkammerzündkerze - in Bezug auf die Längsachse der ersten Zündquelle (13) - radial außerhalb eines Gewindes der ersten Zündquelle (13) angeordnet ist.
22. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nebenvolumen (V2) als Ringraum ausgebildet ist und einen Rauminhalt aufweist, welcher das 0,05 bis 0,8-fache, vorzugsweise das 0,075 - 0,4-fache, besonders vorzugsweise das 0,1 bis 0,3-fache des Hauptvolumens (V1) der Vorkammer (11) beträgt.
23. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Überströmöffnung (14) von der Vorkammer (11) in den Brennraum (7) eine Länge (L) von 2 mm - 20 mm und einen Durchmesser (D) von 0,1 mm - 3 mm aufweist, wobei vorzugsweise zumindest eine Übertrittsöffnung (14) annähernd zylindrische Form aufweist.
24. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wände der Vorkammer (11) aus einer Kupfer-, Nickel-, Chrom-, Wolfram- oder Silizium-Legierung bestehen.
25. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (1) mit einem Zylinderkopf (2) mit einer Vorkammer (11) pro Zylinder (3), die über zumindest eine Überströmöffnung (14) mit einem Brennraum (7) strömungsverbunden ist, wobei Kraftstoff-/Luftgemisch über eine in die Vorkammer (11) einmündende erste Zündquelle (13) und über eine außerhalb der Vorkammer (11) in den Brennraum (7) einmündende zweite Zündquelle (15) gezündet wird, wobei das in der Vorkammer (11) gezündete Kraftstoff-/Luftgemisch als Brennfackel (19) über die zumindest eine Überströmöffnung (14) in den Brennraum (7) strömt, wobei der Kraftstoff über eine Einspritzeinrichtung (10) in den Brennraum (7) eingespritzt wird, sich mit Luft vermischt, und das Kraftstoff-Luftgemisch vom Brennraum (7) in die Vorkammer (11) strömt, und wobei in einem zweiten Betriebsbereich (B) das Kraftstoff-/Luftgemisch durch die erste Zündquelle (13) in der Vorkammer (11) gezündet wird, und in einem dritten Betriebsbereich (C) das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer (11) und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum (7) gleichzeitig oder nacheinander durch die erste Zündquelle (13) in der Vorkammer (11) und durch die zweite Zündquelle (15) im Brennraum (7) gezündet werden., **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem ersten Betriebsbereich (A) das Kraftstoff- /Luftgemisch durch die zweite Zündquelle (15) im Brennraum (7) gezündet wird, und dass der Kraftstoff durch die Einspritzeinrichtung (10) in mehreren Einspritzstrahlen (18) in den Brennraum (7) eingespritzt wird, wobei - in Richtung der Zylinderachse (3a) betrachtet - zumindest zwei Einspritzstrahlen (18) auf einen Bereich beidseits der Mündung (11a) der Vorkammer (11) und/oder Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) gerichtet werden, und/oder wobei - in Richtung

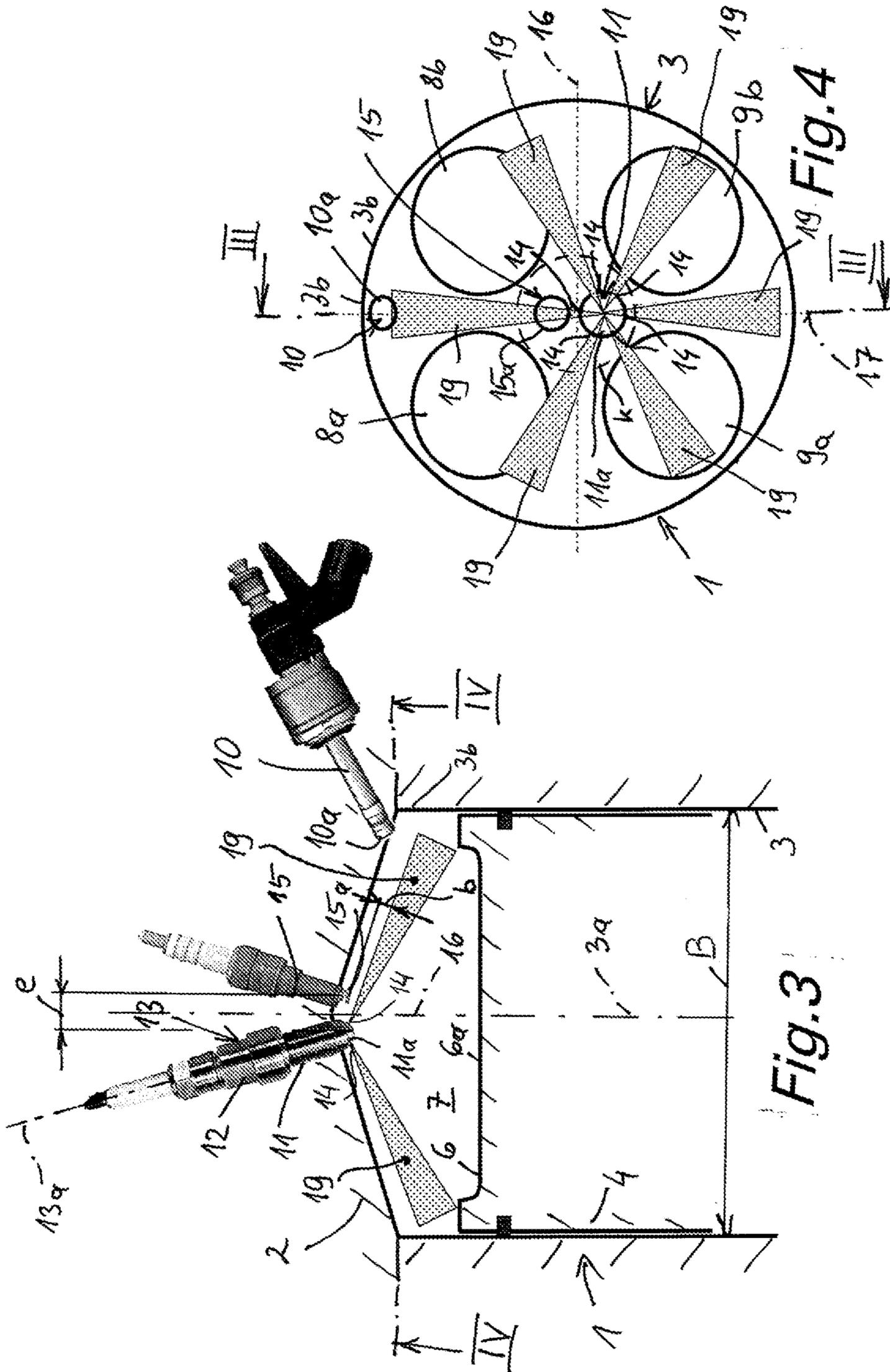
der Zylinderachse (3a) betrachtet - zumindest ein Einspritzstrahl (18) auf einen Bereich in Richtung der Mündung (11a) der Vorkammer (11) und/oder Mündung (15a) der zweiten Zündquelle (15) gerichtet wird.

26. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Betriebsbereich (A) dem Kaltstart und/oder dem Katalysatorheizbetrieb und/ oder dem Leerlaufbereich zugeordnet wird.
27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Betriebsbereich (B) dem oberen Teillastbereich und/oder dem Vollastbereich zugeordnet wird.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass der dritte Betriebsbereich (C) dem Leerlaufbereich und/oder einem vorzugsweise leerlaufnahen Teillastbereich zugeordnet wird.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass im dritten Betriebsbereich (C) das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer (11) und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum (7) gleichzeitig durch die erste Zündquelle (13) in der Vorkammer (11) und durch die zweite Zündquelle (15) im Brennraum (7) gezündet werden.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass im dritten Betriebsbereich (C) das Kraftstoff-/Luftgemisch in der Vorkammer (11) und das Kraftstoff-/Luftgemisch im Brennraum (7) nacheinander durch die erste Zündquelle (13) in der Vorkammer (11) und durch die zweite Zündquelle (15) im Brennraum (7) gezündet werden, wobei vorzugsweise die erste Zündquelle (13), besonders vorzugsweise bis zu 5° Kurbelwinkel, vor der zweiten Zündquelle (15) zündet.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teil des Abgases der Brennkraftmaschine (1) gekühlt und in den Brennraum (7) rückgeführt wird.
32. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Zündquelle (15) zur Unterstützung der Entflammung verwendet wird.

**Hierzu 8 Blatt Zeichnungen**







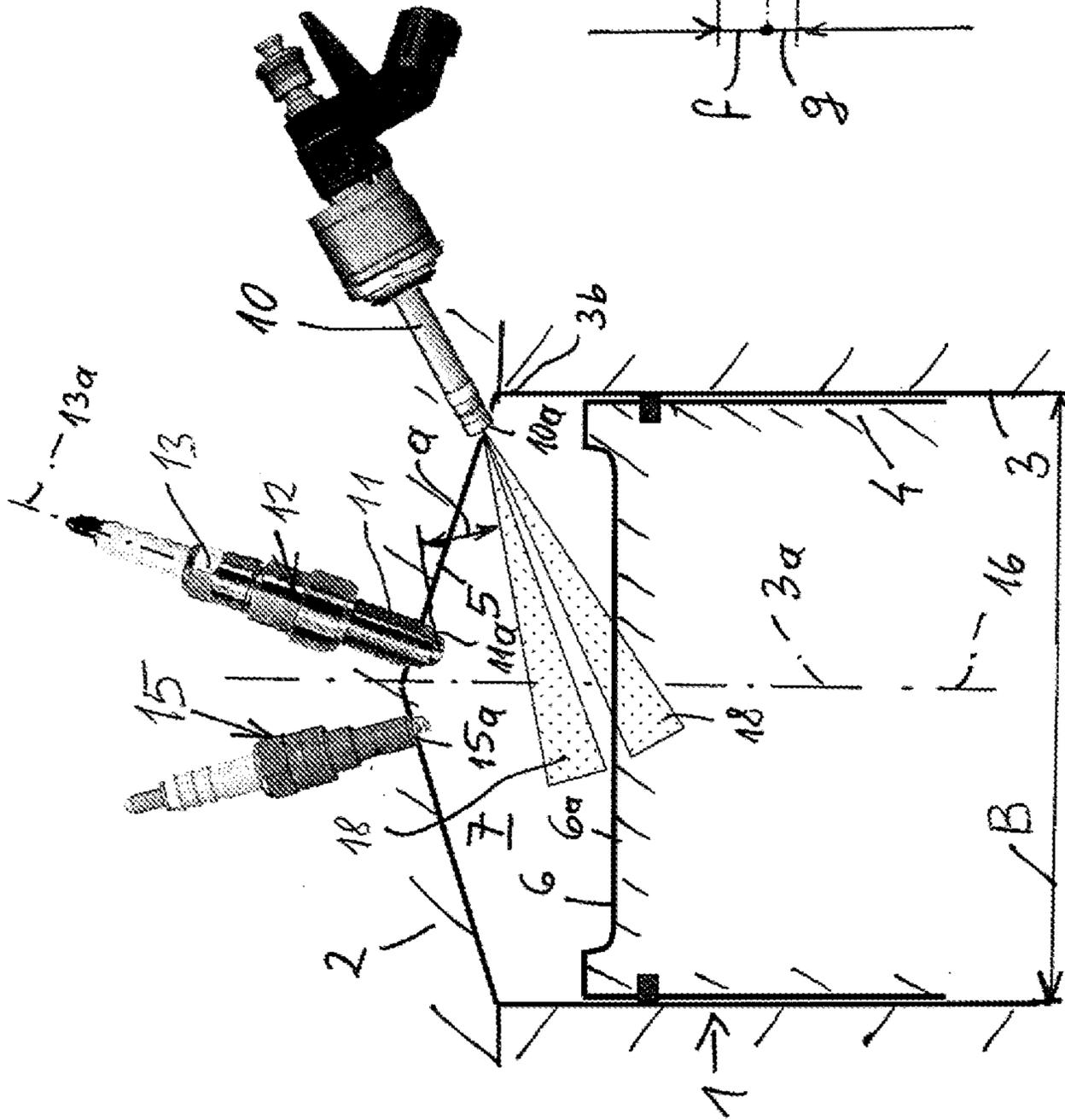


Fig. 5

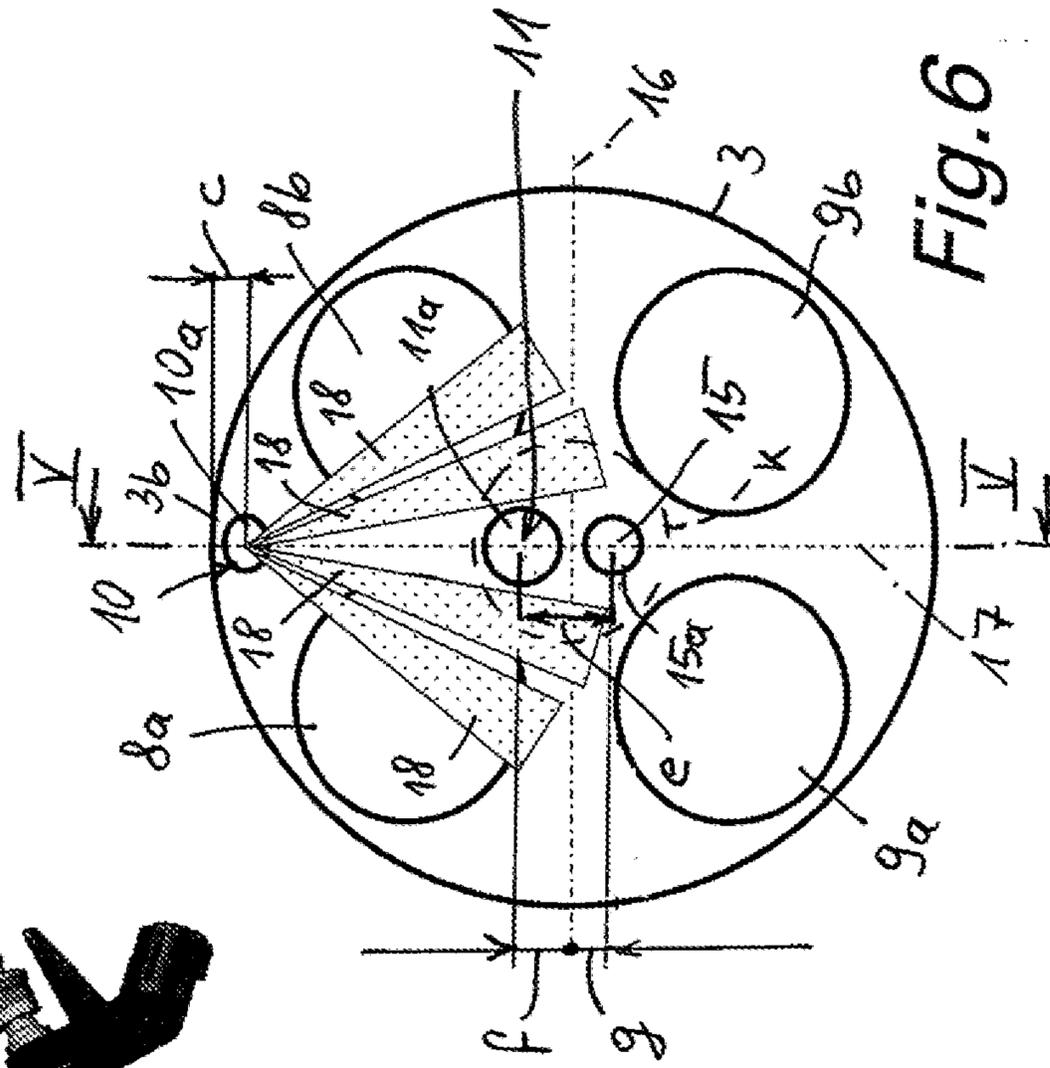
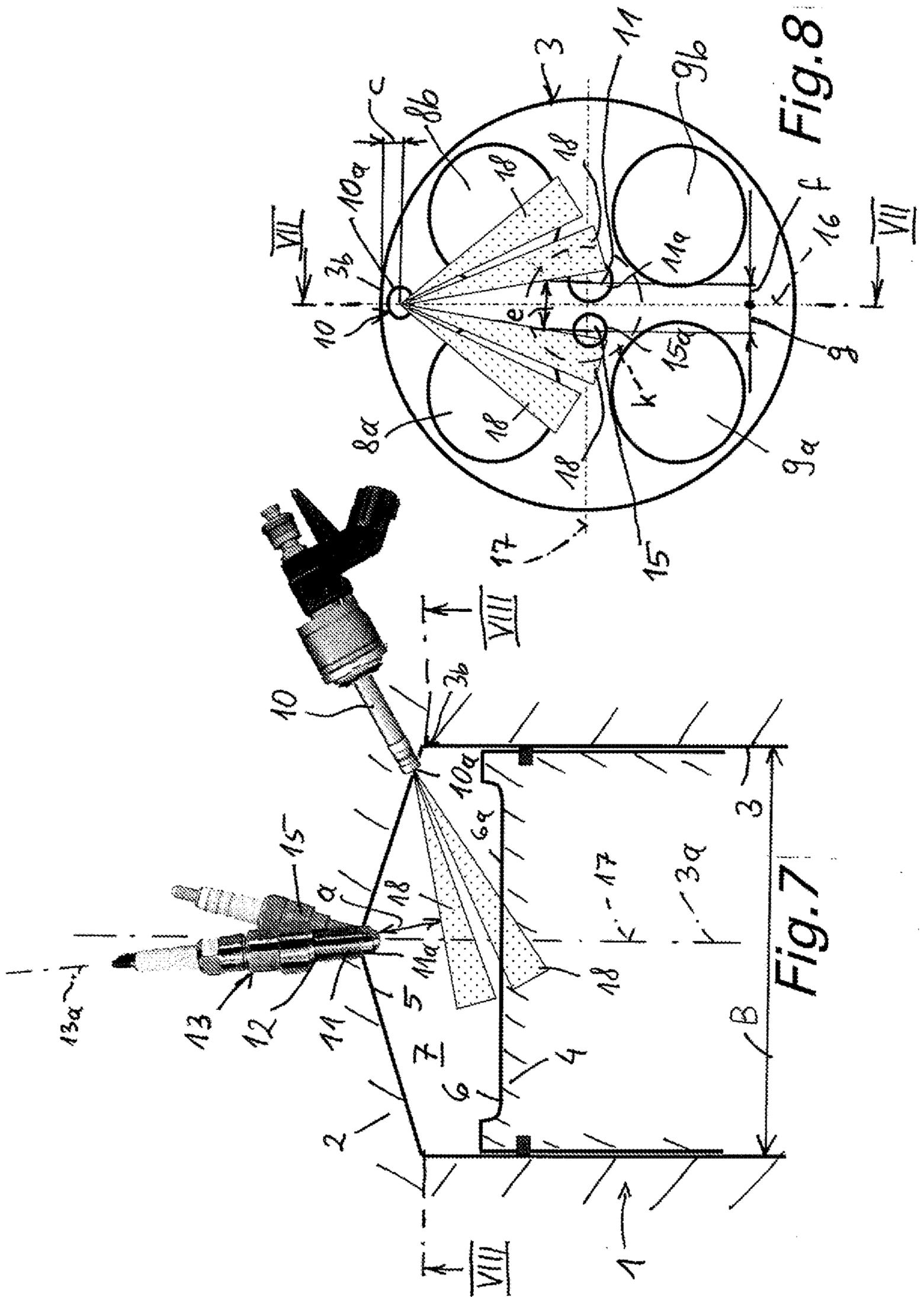


Fig. 6



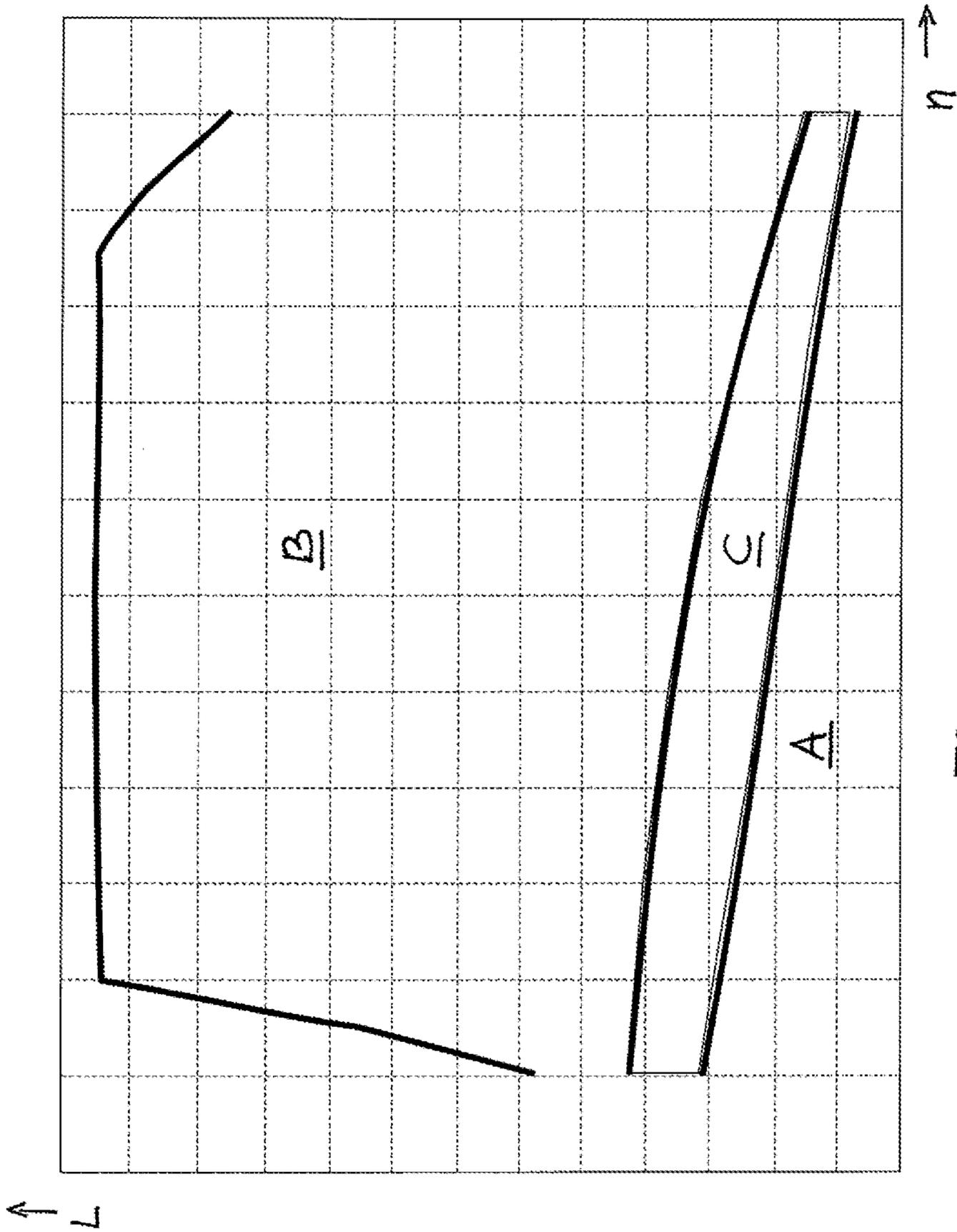


Fig.9

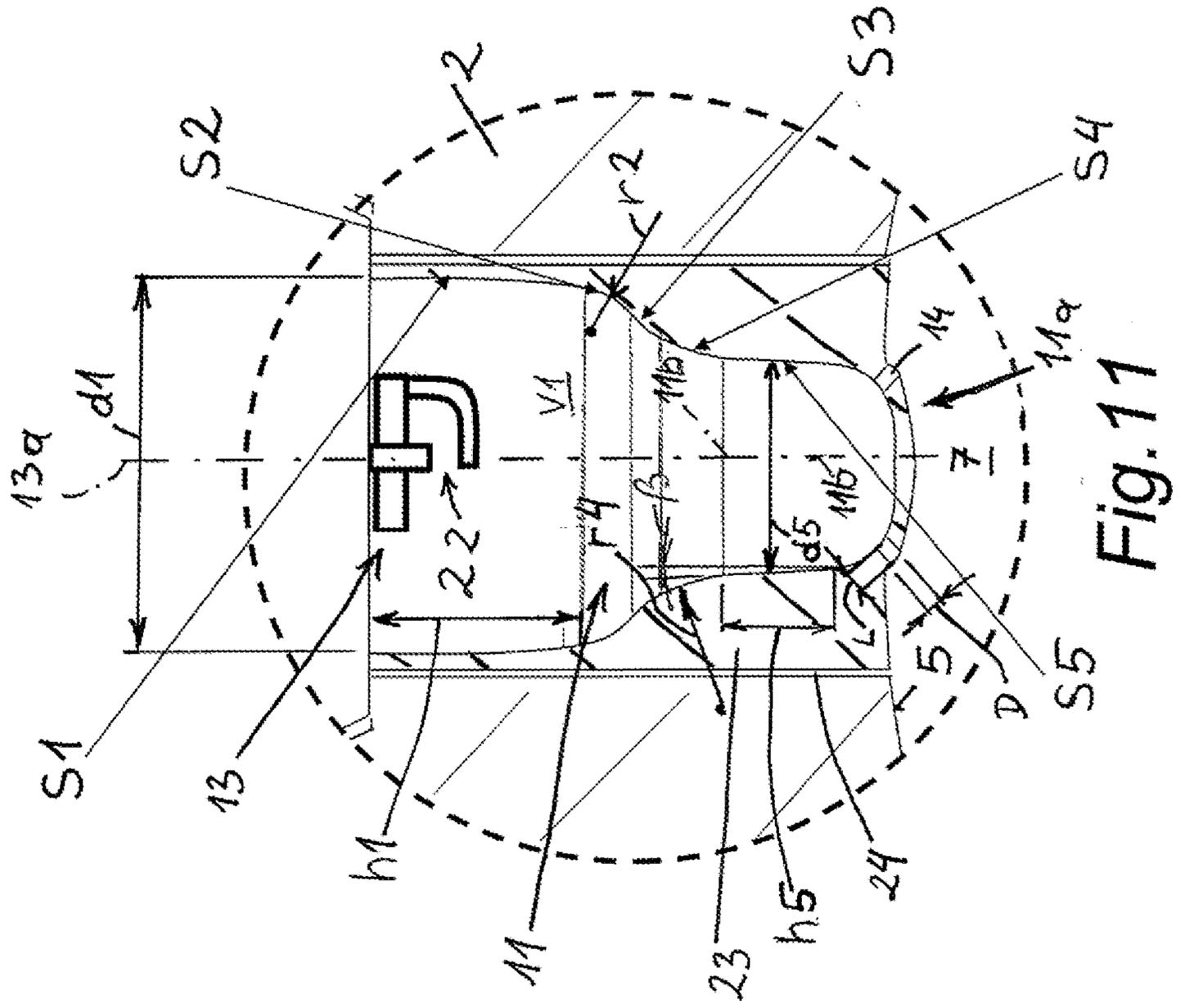


Fig. 11

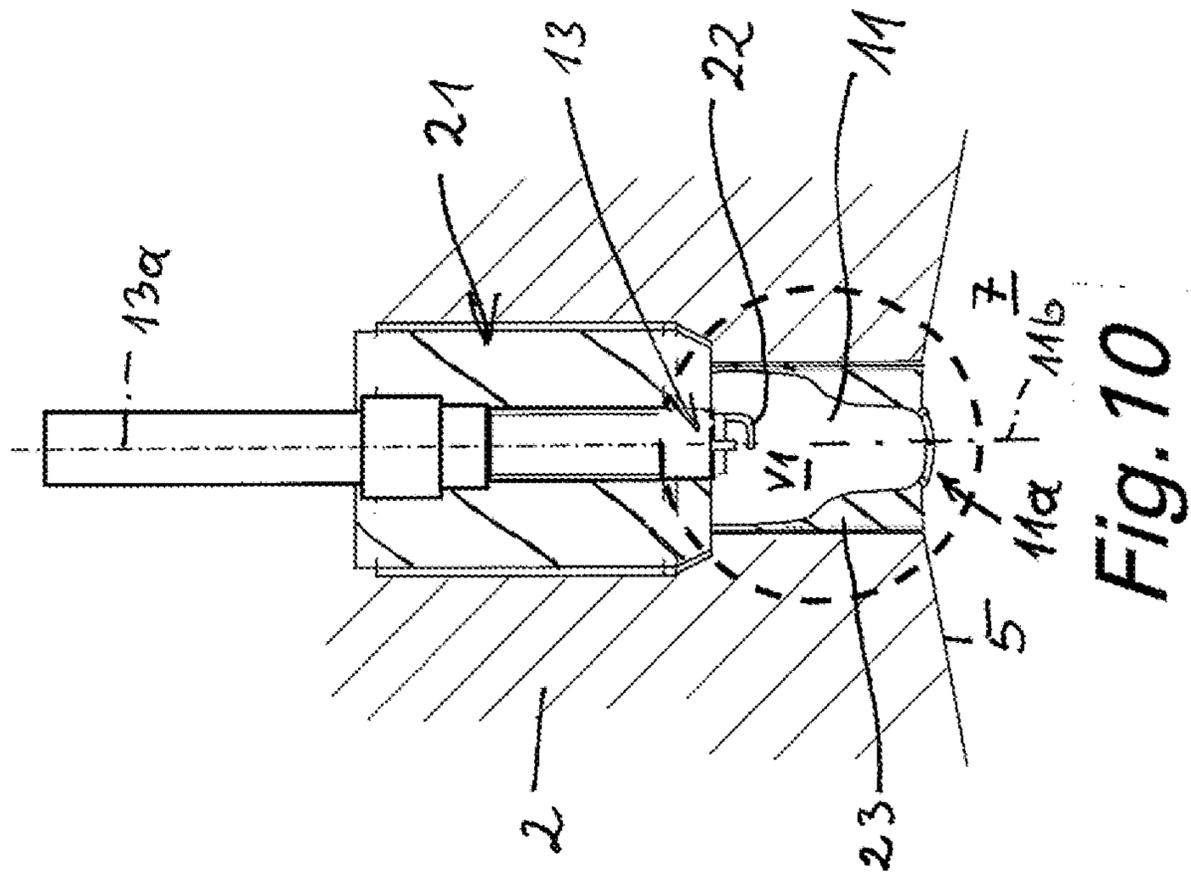


Fig. 10

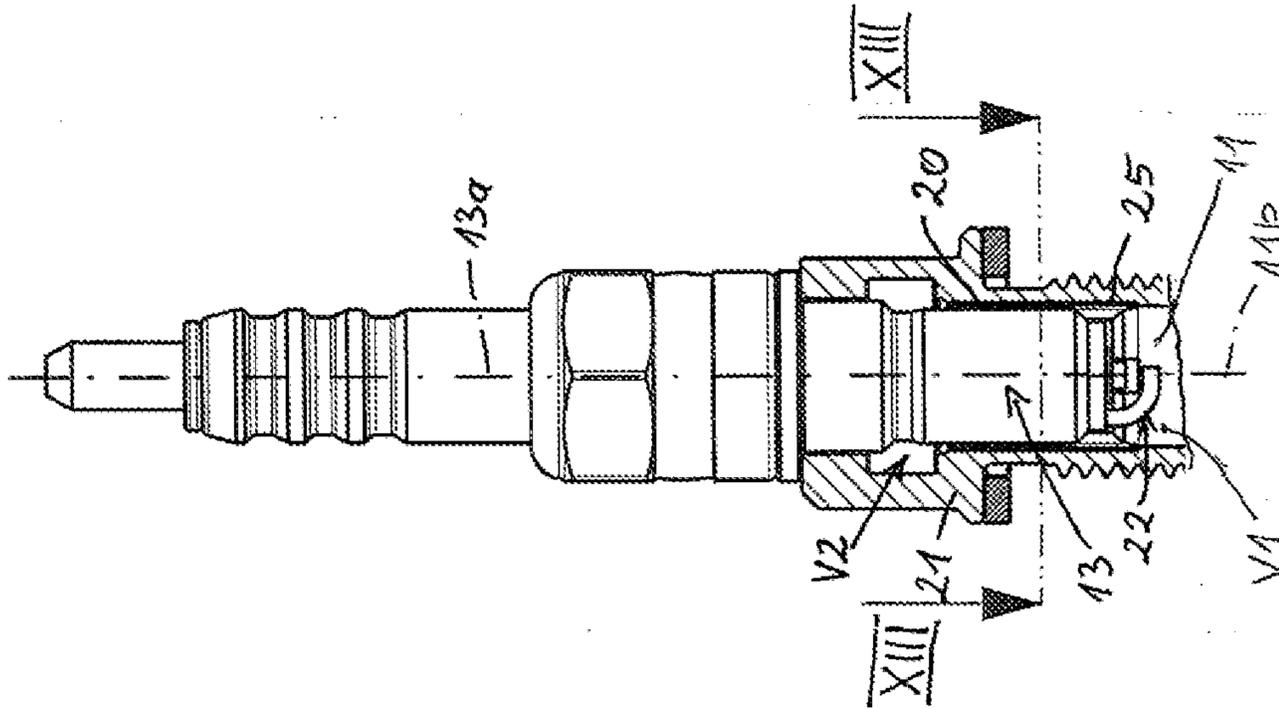


Fig. 12

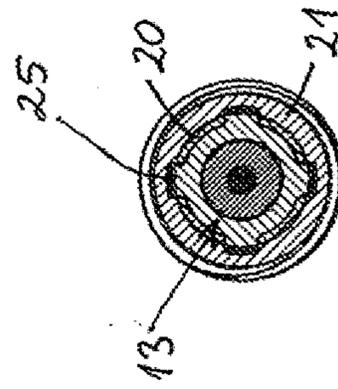


Fig. 13

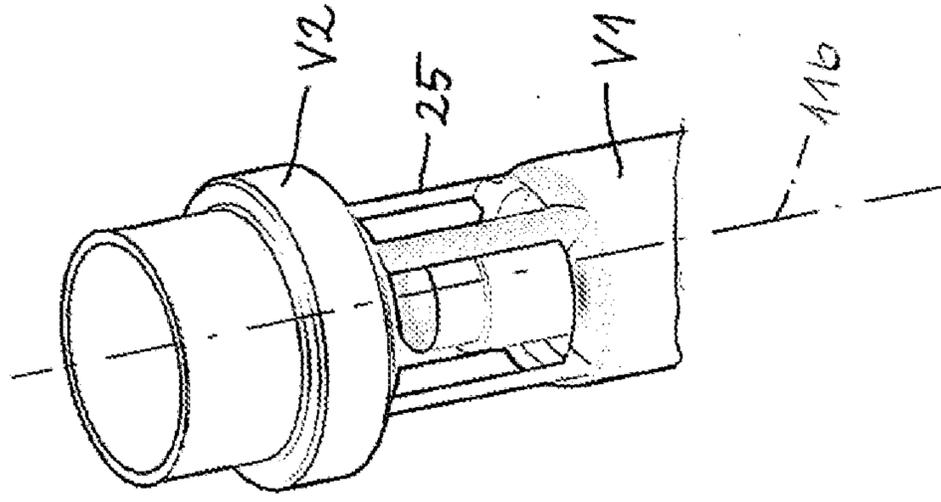


Fig. 14