

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50806/2020
(22) Anmeldetag: 23.09.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.12.2021

(51) Int. Cl.: **F02B 19/12** (2006.01)
F02B 19/18 (2006.01)
F02B 19/16 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2013172141 A1
JP H11280477 A
JP S51141905 A
DE 102018212917 A1
JP S5743321 U
GB 766233 A
JP S5722624 U

(73) Patentinhaber:
Pankl Racing Systems AG
8605 Kapfenberg (AT)

(72) Erfinder:
Reisenhofer Michael Dipl.Ing.
8045 Graz (AT)

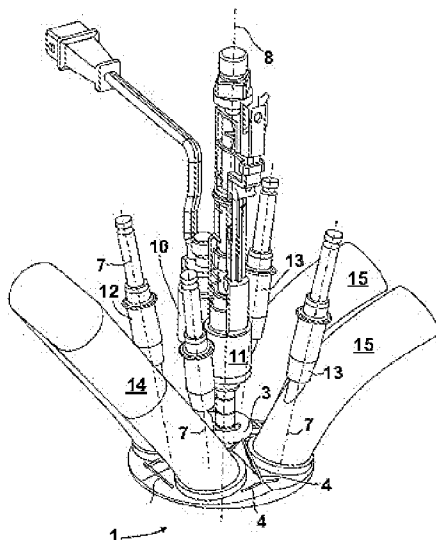
(74) Vertreter:
WIRNSBERGER & LERCHBAUM
Patentanwälte OG
8700 Leoben (AT)

(54) Verfahren zum Betreiben eines Hubkolbenmotors sowie Hubkolbenmotor

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Hubkolbenmotors, wobei ein zündfähiges Gemisch in einem Brennraum (1) gezündet wird, welcher an einen Kolben grenzt, welcher Kolben mit einer um eine Kurbelachse rotierenden Kurbelwelle verbunden ist, indem ein zündfähiges Gemisch in einer Vorkammer (3), welche mit dem Brennraum (1) über mehrere Überströmkkanäle (4) verbunden ist, gezündet wird, wonach sich Flammenfronten ausgehend von der Vorkammer (3) über die Überströmkkanäle (4) bis in den Brennraum (1) ausbreiten und das im Brennraum (1) befindliche Gemisch zünden, sodass die Kurbelwelle aufgrund eines Druckanstieges im Brennraum (1) mittels des Kolbens bewegt wird. Um eine besonders hohe Effizienz zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine maximale Vorkammerererstreckung der Vorkammer (3) in einer Radialrichtung (9) normal zu einer Mittelachse (8) des Brennraumes (1) weniger als 50 %, insbesondere weniger als 30 %, einer maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) beträgt und die Verbrennung im Brennraum (1) über die Überströmkkanäle (4) an Positionen eingeleitet wird, welche zumindest teilweise einen Abstand (21) voneinander aufweisen, welcher zumindest 50 % einer maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) entspricht.

Weiter betrifft die Erfindung einen Hubkolbenmotor mit einem Brennraum (1), in welchen ein zündfähiges

Gemisch einbringbar ist, um durch ein Zünden des Gemisches im Brennraum (1) mittels eines an den Brennraum (1) angrenzenden, translatorisch bewegbaren Kolbens eine Kurbelwelle in eine Drehbewegung um eine Kurbelachse zu versetzen, wobei eine Vorkammer (3) sowie eine auf die Vorkammer (3) wirkende Zündeinrichtung vorgesehen sind, wobei die Vorkammer (3) mit dem Brennraum (1) über Überströmkkanäle (4) verbunden ist, sodass das Gemisch im Brennraum (1) durch Zünden eines zündfähigen Gemisches in der Vorkammer (3) mittels der Zündeinrichtung entzündbar ist.



Beschreibung

VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES HUBKOLBENMOTORS SOWIE HUBKOLBENMOTOR

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Hubkolbenmotors, wobei ein zündfähiges Gemisch in einem Brennraum gezündet wird, welcher an einen Kolben grenzt, welcher Kolben mit einer um eine Kurbelachse rotierenden Kurbelwelle verbunden ist.

[0002] Weiter betrifft die Erfindung einen Hubkolbenmotor mit einem Brennraum, in welchen ein zündfähiges Gemisch einbringbar ist, um durch ein Zünden des Gemisches im Brennraum mittels eines an den Brennraum angrenzenden und entlang einer Kolbenachse bewegbaren Kolbens eine Kurbelwelle in eine Drehbewegung um eine Kurbelachse zu versetzen, wobei eine Vorkammer sowie eine auf die Vorkammer wirkende Zündeinrichtung vorgesehen sind, wobei die Vorkammer mit dem Brennraum über Überströmkanäle verbunden ist, sodass das Gemisch im Brennraum durch Zünden eines zündfähigen Gemisches in der Vorkammer mittels der Zündeinrichtung entzündbar ist, wobei eine maximale Vorkammererstreckung der Vorkammer in einer Radialrichtung normal zu einer Mittelachse des Brennraumes weniger als 50 %, insbesondere weniger als 30 %, einer maximalen Erstreckung des Brennraumes in dieser Radialrichtung beträgt und die Überströmkanäle an Positionen in den Brennraum münden, welche zumindest teilweise einen Abstand voneinander aufweisen, welcher zumindest 50 % der maximalen Erstreckung des Brennraumes in dieser Radialrichtung entspricht.

[0003] Verfahren der eingangs genannten Art sind aus dem Stand der Technik als sogenannte Vorkammerbrennverfahren bekannt geworden. Mit derartigen Brennverfahren wird versucht, eine Effizienz insbesondere bei ottomotorischen Brennverfahren zu verbessern, welche andernfalls durch ein geringes Verdichtungsverhältnis begrenzt ist. So sind höhere Verdichtungsverhältnisse bei Ottomotoren aufgrund eines Risikos nicht möglich, eine als Klopfen bezeichnete schlagartige Selbstzündung im Brennraum zu provozieren, welche den Motor beschädigen würde.

[0004] Aus dem Dokument WO 2013/172141 A1 ist ein Motor bekannt geworden, welcher mit gasförmigem Ammoniak betrieben wird.

[0005] Das Dokument JP H11280477 A offenbart eine Kolbenmaschine mit einer im Kolben angeordneten Vorkammer.

[0006] Aus dem Dokument JP S51141905 A ist ein Verbrennungsmotor mit einer Vorkammer bekannt geworden, wobei die Vorkammer über Kanäle mit unterschiedlichem Querschnitt mit einem Brennraum verbunden ist.

[0007] Das Dokument DE 10 2018 212 917 A1 offenbart eine Brennkraftmaschine mit einer Vorkammer, von der sich Kanäle in eine Brennkammer erstecken.

[0008] Aus dem Dokument JP S5743321 U ist ein Verbrennungsmotor mit einer Zündkerze bekannt geworden, wobei die Zündkerze über mehrere Kanäle mit einem Brennraum verbunden ist.

[0009] Es hat sich jedoch gezeigt, dass auch mit aus dem Stand der Technik bekannten Vorkammerbrennverfahren noch immer keine ausreichende Effizienz erzielt wird.

[0010] Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine besonders hohe Effizienz erreicht wird.

[0011] Weiter soll ein Hubkolbenmotor der eingangs genannten Art angegeben werden, welcher auf besonders effiziente Weise betrieben werden kann.

[0012] Die erste Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem ein zündfähiges Gemisch in einer als Ringraum ausgebildeten Vorkammer, welche mit dem Brennraum über mehrere Überströmkanäle verbunden ist, gezündet wird, wonach sich Flammenfronten ausgehend von der Vorkammer über die Überströmkanäle bis in den Brennraum ausbreiten und das im Brennraum befindliche Gemisch zünden, sodass die Kurbelwelle aufgrund eines Druckanstieges im Brennraum mittels des Kolbens bewegt wird, wobei

eine maximale Vorkammerererstreckung der Vorkammer in einer Radialrichtung normal zu einer Mittelachse des Brennraumes weniger als 50 %, insbesondere weniger als 30 %, einer maximalen Erstreckung des Brennraumes in dieser Radialrichtung beträgt und die Verbrennung im Brennraum über die Überströmkanäle an Positionen eingeleitet wird, welche zumindest teilweise einen Abstand voneinander aufweisen, welcher zumindest 50 % einer maximalen Erstreckung des Brennraumes in dieser Radialrichtung entspricht.

[0013] Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass eine besonders hohe Effizienz erreicht werden kann, wenn das Verfahren auf diese Weise umgesetzt wird, zumal aufgrund der verglichen mit dem Brennraum sehr kompakten Vorkammer eine besonders rasche Verbrennung des zündfähigen Gemisches in der Vorkammer erreicht wird, welche dazu führt, dass die über die Überströmkanäle im Brennraum eingeleitete Verbrennung an den einzelnen Positionen, an welchen die Überströmkanäle in den Brennraum münden, nahezu gleichzeitig eingeleitet wird. Nachdem diese Positionen entsprechend weit voneinander beabstandet sind, wird auch das Gemisch im Brennraum in besonders kurzer Zeit vollständig verbrannt, sodass sich der Kolben während einer Verbrennung des Gemisches im Brennraum nur minimal bewegt und annähernd eine thermodynamisch besonders günstige Gleichraumverbrennung erreicht werden kann. Diese besonders rasche Verbrennung wird somit durch eine verglichen mit dem Stand der Technik sehr kompakte Vorkammer und gleichzeitig vergleichsweise lange Überströmkanäle erreicht, welche ein im Wesentlichen ein gleichzeitiges Zünden des Gemisches im Brennraum an unterschiedlichen Positionen ermöglichen.

[0014] Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass die Kurbelwelle von einer Zündung des Gemisches in der Vorkammer bis zur vollständigen Verbrennung des Gemisches in der Vorkammer um weniger als 20°, insbesondere weniger als 15°, um die Kurbelachse bewegt wird. Somit ist die Verbrennung in der Vorkammer besonders schnell abgeschlossen und wird die Verbrennung in den Überströmkanälen, welche an unterschiedlichen Positionen in die Vorkammer münden, nahezu gleichzeitig eingeleitet, sodass die Verbrennung auch im Brennraum durch die Überströmkanäle an unterschiedlichen Positionen nahezu gleichzeitig eingeleitet werden kann.

[0015] Als Vorkammerererstreckung kann beispielsweise ein Durchmesser der Vorkammer normal zur Mittelachse des Brennraumes verstanden werden, wobei die Mittelachse des Brennraumes üblicherweise eine Zylinderachse des in der Regel zylinderförmig ausgebildeten Brennraumes bildet. Bei einem rotationssymmetrischen bzw. zylinderförmigen Brennraum entspricht die maximale Erstreckung des Brennraumes in Radialrichtung folglich üblicherweise einem Brennraumdurchmesser bzw. einem Zylinderdurchmesser.

[0016] Beim erfindungsgemäßen Verfahren ist auch eine besonders hohe Verdichtung im Brennraum möglich, zumal aufgrund der geringen Durchbrennzeiten, die sich durch die gleichzeitige Zündung des Gemisches an voneinander beabstandeten Positionen ergeben, keine Klopfneigung des Verfahrens mehr besteht, wodurch eine besonders hohe Effizienz auch bei sogenannten Ottokraftstoffen wie insbesondere Benzin erreicht wird. Hierzu kann vorgesehen sein, dass ein Verdichtungsverhältnis des Motors mehr als 16 und/oder ein maximaler Verdichtungsdruck im Brennraum beispielsweise mehr als 35 bar beträgt.

[0017] Günstig ist es, dass bei einer Bewegung des Kolbens zu einem oberen Totpunkt Gas über die Überströmkanäle in die Vorkammer strömt, wobei in der Vorkammer eine Strömung mit einem Drall erzeugt wird. Dadurch kann im Gemisch in der Vorkammer eine besonders gute Verteilung des Kraftstoffes erreicht werden. Üblicherweise sind sowohl in der Vorkammer als auch im Brennraum Injektoren vorgesehen, mit welchen Kraftstoff in die Vorkammer und in den Brennraum eingespritzt werden kann, um abhängig von einem Lastzustand ein mageres oder fettes Gemisch zu bilden. Als Drall der Strömung, welcher auch als Wirbel bezeichnet werden kann, wird eine drehende Bewegung von Fluidelementen um eine Drehachse verstanden. Hier sind die Überströmkanäle bevorzugt derart angeordnet, dass der Drall bzw. die Bewegung der Fluidteilchen um eine Mittelachse des Brennraumes erfolgt, entlang welcher der Kolben bewegbar ist, in der Regel um eine Zylinderachse des zylinderförmig ausgebildeten Brennraumes. Die Überströmkanäle münden hierzu bevorzugt unter einem Winkel in die Vorkammer, welcher kleiner als 90° ist.

Durch diese Anbindung der Überströmkanäle an die Vorkammer wird auch eine besonders gute Spülung der Vorkammer von Verbrennungsgasen erreicht.

[0018] Üblicherweise ist vorgesehen, dass das Gemisch in der Vorkammer mit einem elektrisch erzeugten Zündfunken gezündet wird. Hierzu können eine oder mehrere in die Vorkammer wirkende Zündkerzen vorgesehen sein.

[0019] Um ein besonders rasches Verbrennen des Gemisches im Brennraum zu erreichen, ist bevorzugt vorgesehen, dass vom Zünden des Gemisches im Brennraum mittels einer ersten Flammenfront bis zu einem Zünden des Gemisches im Brennraum mittels einer letzten Flammenfront die Kurbelwelle um weniger als 20° , insbesondere weniger als 15° , bevorzugt weniger als 10° , bewegt wird. Die einzelnen Flammenfronten gehen dabei jeweils von der Verbrennung in der Vorkammer aus und gelangen über die Überströmkanäle zum Brennraum. So hat sich im Rahmen der Erfindung gezeigt, dass eine besonders günstige Verbrennung des Gemisches im Brennraum erreicht wird, wenn die einzelnen Flammenfronten, welche den Brennraum durch die Überströmkanäle erreichen und dort das Gemisch zünden, den Brennraum gleichzeitig oder zumindest nahezu gleichzeitig erreichen.

[0020] Die Flammenfronten können sich dabei mit Geschwindigkeiten durch die Überströmkanäle bewegen, welche wesentlich höher sind als eine Flammenausbreitungsgeschwindigkeit in einem stehenden Medium, da aufgrund der Verbrennung des Gemisches in der Vorkammer ein Druck in der Vorkammer ansteigt, wodurch eine Strömung von der Vorkammer in den Brennraum bewirkt wird.

[0021] Um trotz unterschiedlicher Längen der einzelnen Überströmkanäle ein möglichst gleichzeitiges Zünden des Brennraumes an jenen Positionen zu erreichen, in welchen die Überströmkanäle in den Brennraum münden, kann vorgesehen sein, dass die Flammenfronten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch die Überströmkanäle bewegt werden.

[0022] Hierzu können die Überströmkanäle mit unterschiedlichen Durchmessern und/oder über eine Länge der Überströmkanäle zunehmenden und/oder abnehmenden Querschnitten ausgebildet sein. Beispielsweise können die Überströmkanäle minimale Durchmesser in einem Bereich aufweisen, in welchem diese in den Brennraum münden, und/oder in einem Bereich, in welchem diese in die Vorkammer münden, um einerseits Drosselverluste bei einem Überschieben des Gemisches von der Vorkammer in den Brennraum zu minimieren und andererseits eine Abkühlung des Gemisches und somit ein Erlöschen der Flammenfronten in den Überströmkanälen zu verhindern.

[0023] Zur Erreichung eines besonders raschen Brennverlaufes ist bevorzugt vorgesehen, dass die Flammenfronten in den Überströmkanälen zumindest bereichsweise mit Überschallgeschwindigkeit bewegt werden. Hierzu können die Überströmkanäle zumindest teilweise eine Düsenform aufweisen, insbesondere eine Form einer Lavalldüse.

[0024] Die Überströmkanäle können dabei auch mit Düsen derart ausgebildet sein, dass in einem der Düse stromabwärts angeordneten Bereich, insbesondere im Brennraum, ein Verdichtungsstoß erzeugbar ist, um einen gezielten Energieumsatz von einer Druck- bzw. Strömungsenergie in Wärmeenergie zu erreichen, welche eine Entflammung des Gemisches im Brennraum unterstützt, sodass dieses Gemisch auch bei einem Abkühlen der Flammenfront im Überströmkanal entflammbar ist.

[0025] Um einen besonders hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist bevorzugt vorgesehen, dass die Verbrennung an zumindest einer Position in den Brennraum eingeleitet wird, welche einen Radialabstand zu einer Mittelachse des Brennraumes von zumindest 35 %, vorzugsweise zumindest 40 %, eines Brennraumdurchmessers aufweist.

[0026] Weiter kann zur Erreichung einer hohen Effizienz vorgesehen sein, dass die Verbrennung an zumindest einer Position in den Brennraum eingeleitet wird, welche einen Radialabstand zu einer Mittelachse des Brennraumes von maximal 25 %, vorzugsweise maximal 15 %, eines Brennraumdurchmessers aufweist.

[0027] Zwischen den Positionen mit maximalem und minimalem Radialabstand zur Mittelachse können weitere, vorzugsweise gleichmäßig verteilt angeordnete, Positionen vorgesehen sein, an welchen die Überströmkanäle in den Brennraum münden.

[0028] Dabei können die Überströmkanäle auch verzweigt ausgebildet sein, sodass ein von der Vorkammer ausgehender Überströmkanal an mehreren Positionen in den Brennraum mündet.

[0029] Somit wird die Verbrennung an Positionen in den Brennraum eingeleitet, welche im Wesentlichen gleichmäßig über den üblicherweise rotationssymmetrischen Brennraum verteilt angeordnet sind, um kurze Brennwege zu erreichen, welche unter anderem eine günstige Abmagerungsfähigkeit des Motors gewährleisten, sodass der Motor auch in einem Teillastbetrieb mit hoher Effizienz betrieben werden kann.

[0030] Die weitere Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Hubkolbenmotor der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem die Vorkammer als Ringraum ausgebildet ist.

[0031] Ein derartiger Hubkolbenmotor ist insbesondere zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet, welches bevorzugt auch mit einem solchen Hubkolbenmotor durchgeführt wird. Mit dieser Ausführung eines kompakten Brennraumes, von welchem ausgehend Überströmkanäle an entfernt voneinander angeordneten Positionen in den Brennraum münden, wird ein besonders rasches Verbrennen des Gemisches in der Vorkammer erreicht, üblicherweise innerhalb einer Zeitspanne, in welcher die Kurbelwelle um 20° oder weniger um die Kurbelachse bewegt wird, und ist gleichzeitig gewährleistet, dass das Gemisch im Brennraum in besonders kurzer Zeit vollständig verbrennt, zumal dieses Gemisch an unterschiedlichen Positionen im Brennraum über Flammenfronten, welche über die Überströmkanäle von der Vorkammer in den Brennraum bewegt werden, im Wesentlichen gleichzeitig gezündet wird.

[0032] Dadurch ergeben sich auch kurze Brennwege im Brennraum. Somit kann der Hubkolbenmotor auch mit einem vergleichsweise hohen Verdichtungsverhältnis von beispielsweise 16 oder höher bzw. einem hohen Druck im Brennraum betrieben werden, da ein Klopfen aufgrund der gleichzeitigen Zündung an unterschiedlichen Positionen im Brennraum vermieden wird.

[0033] In die Vorkammer mündet üblicherweise ein Injektor, um Kraftstoff in die Vorkammer einspritzen und in dieser ein zündfähiges Gemisch bilden zu können.

[0034] In der Regel ist ferner eine auf die Vorkammer wirkende Zündeinrichtung, insbesondere eine Zündkerze, vorgesehen, um zündfähiges Gemisch in der Vorkammer zu zünden und somit eine Zündung des Gemisches im Brennraum auszulösen.

[0035] Bevorzugt ist ergänzend oder alternativ auch ein Injektor vorgesehen, mit welchem Kraftstoff in den Brennraum einspritzbar ist. Dieser Injektor kann durch die Vorkammer hindurchgeführt sein, insbesondere da die Vorkammer als Ringraum ausgebildet ist.

[0036] Darüber hinaus kann auch bei einem erfindungsgemäß ausgebildeten Motor eine unmittelbar auf den Brennraum wirkende Zündeinrichtung wie eine Zündkerze vorgesehen sein. Das Gemisch im Brennraum kann dann alternativ oder ergänzend auch mit dieser Zündeinrichtung gezündet werden, beispielsweise um das Gemisch im Brennraum bei bestimmten Lastsituationen, insbesondere in einem Teillastbetrieb, in einem konventionellen Verfahren zu betreiben und das Gemisch im Brennraum nur in einem Vollastbetrieb, wenn beispielsweise ein Erlöschen der Flammenfronten in den Überströmkanälen aufgrund einer hohen Motortemperatur ausgeschlossen ist, bzw. bei einem hohen Verdichtungsverhältnis, welches andernfalls zu einem Klopfen bzw. einer für den Motor schädlichen schlagartigen Verbrennung im Brennraum führen könnte, mittels der Vorkammer und der Überströmkanäle zu zünden. Somit kann mit dem Motor sowohl ein herkömmliches Brennverfahren mit einer Zündung des Gemisches im Brennraum durch eine Zündkerze im Brennraum als auch ein Vorkammervorgang umgesetzt werden.

[0037] Ein einfacher Aufbau kann erreicht werden, wenn die Vorkammer in einem Zylinderkopf angeordnet ist. Die Vorkammer ist dann starr mit dem Zylinder bzw. dem Brennraum verbunden. Hierzu kann beispielsweise im Zylinderkopf ein Einsatz vorgesehen sein, mit welchem im Zylinderkopf ein die Vorkammer bildender Hohlraum gebildet wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen,

dass die Vorkammer als Ringraum, insbesondere als Torus, ausgebildet ist. Eine Rotationsachse des Ringraumes bzw. des Torus fällt dabei bevorzugt mit einer Mittelachse des Brennraumes bzw. einer Zylinderachse zusammen, sodass mittig im Torus ein Raum verbleibt, durch welchen beispielsweise mittels eines Injektors Kraftstoff mittig in den Brennraum eingespritzt werden kann.

[0038] Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Vorkammer eine Einspritzeinrichtung, insbesondere einen Injektor, umschließt, mit welcher Kraftstoff in den Brennraum einspritzbar ist. Dies ist insbesondere dann auf einfache Weise möglich, wenn die Vorkammer als Ringraum bzw. als Torus ausgebildet ist.

[0039] Um ein besonders rasches Verbrennen des in der Vorkammer befindlichen Gemisches zu erreichen, ist bevorzugt vorgesehen, dass die Vorkammer ein Volumen aufweist, welches weniger als 20 %, insbesondere weniger als 10 %, eines minimalen Brennraumvolumens entspricht. Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass ein besonders gleichzeitiges Zünden des Gemisches im Brennraum durch die über die Überströmkanäle zum Brennraum gelangenden Flammenfronten erreicht wird, wenn die Vorkammer besonders kompakt ausgebildet ist, zumal dann eine Verbrennung des Gemisches in der Vorkammer rasch abgeschlossen ist, wonach die Flammenfronten über die Überströmkanäle in den Brennraum geleitet werden. Als minimales Brennraumvolumen wird das Volumen verstanden, welches der Brennraum aufweist, wenn sich der Kolben in einem oberen Totpunkt befindet.

[0040] Bevorzugt ist vorgesehen, dass zumindest einige Überströmkanäle unter einem Winkel von weniger als 90° in die Vorkammer münden. Dadurch kann in der Vorkammer eine Strömung mit einem Drall bewirkt werden, welche Strömung einerseits zu einer besonders guten Durchmischung von Kraftstoff und Luft in der Vorkammer führt und andererseits auch ein effektives Reinigen bzw. Spülen der Vorkammer von verbrannten Gasen gewährleistet.

[0041] Nachdem die Vorkammer als Ringraum ausgebildet ist, kann auch vorgesehen sein, dass zumindest einige Überströmkanäle etwa tangential in die Vorkammer münden, um einen besonders starken Drall zu erreichen.

[0042] Eine besonders gleichmäßige Zündung des Gemisches im Brennraum ergibt sich, wenn in den Brennraum Einlassventile und Auslassventile münden, wobei zumindest ein Überströmkanal an einer Position in den Brennraum mündet, welche einen größeren Radialabstand zur Mittelachse des Brennraumes als eine Ventilachse der Einlassventile und/oder eine Ventilachse der Auslassventile aufweist.

[0043] Weiter hat es sich bewährt, dass in den Brennraum Einlassventile und Auslassventile münden, wobei zumindest ein Überströmkanal an einer Position in den Brennraum mündet, welche einen kleineren Radialabstand zur Mittelachse des Brennraumes als eine Ventilachse der Einlassventile und/oder eine Ventilachse der Auslassventile aufweist.

[0044] Somit ergibt sich ein Zünden des Gemisches im Brennraum an besonders vielen, weit voneinander beabstandeten und gleichzeitig gleichmäßig über den Brennraum verteilten Positionen, wodurch ein Klopfen auch bei einem sehr hohen Verdichtungsverhältnis effektiv vermieden ist.

[0045] Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Überströmkanäle durch ein Material begrenzt sind, welches eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist, vorzugsweise eine Wärmeleitfähigkeit von weniger als $100 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, insbesondere Stahl. Dadurch ist gewährleistet, dass die von der Vorkammer ausgehenden Flammenfronten in den Überströmkanälen nicht erlöschen, bevor diese den Brennraum erreichen. Hierzu kann eine Komponente, in welcher die Überströmkanäle angeordnet sind, insbesondere ein Zylinderkopf, aus einem entsprechenden Material ausgebildet sein oder Bauelemente aufweisen, welche aus einem solchen Material bestehen und die Überströmkanäle bilden.

[0046] Um in den einzelnen Überströmkanälen, welche unterschiedliche Längen haben können, eine etwa gleich lange Durchbrennzeit zu erreichen, sodass der Brennraum an unterschiedlichen Positionen gleichzeitig gezündet wird, ist bevorzugt vorgesehen, dass ein Querschnitt der Über-

strömkanäle entlang einer Strömungsrichtung von der Vorkammer in den Brennraum zumindest in einem Teilbereich zunimmt. So können einzelne oder sämtliche Überströmkanäle bereichsweise auch mit einer Düsenform ausgebildet sein, um Überschallgeschwindigkeiten zu erreichen und/oder ein starkes Abkühlen der von der Vorkammer in den Brennraum übertretenden Flammenfronten zu verhindern.

[0047] Zur Einleitung einer Zündung des Gemisches im Brennraum auch an Positionen, welche weit von der Vorkammer beabstandet sind, ist mit Vorteil vorgesehen, dass zumindest einige, vorzugsweise alle, Überströmkanäle eine Länge aufweisen, welche zumindest 20 % eines maximalen Brennraumdurchmessers in einer Ebene normal zur Mittelachse des Brennraumes entspricht.

[0048] Um besonders kurze Brennwege zu erreichen, sodass ein Klopfen zuverlässig vermieden werden kann, ist bevorzugt vorgesehen, dass die Überströmkanäle an zumindest 8, vorzugsweise zumindest 12, insbesondere 14 bis 20, Positionen in den Brennraum münden. Diese Positionen sind bevorzugt etwa gleichmäßig über den Brennraum verteilt.

[0049] Wie ausgeführt wird eine erfindungsgemäß rasche Verbrennung des Gemisches im Brennraum durch eine vergleichsweise kompakte Vorkammer und lange Überströmkanäle erreicht, um die Zündung im Brennraum an weit voneinander beabstandeten Positionen im Wesentlichen gleichzeitig einleiten zu können. Besonders günstig ist es in diesem Zusammenhang, wenn eine Länge der Überströmkanäle zumindest einer maximalen Vorkammererstreckung der Vorkammer entlang der Radialrichtung normal zur Mittelachse des Brennraumes entspricht, bevorzugt eine Länge der Überströmkanäle zumindest dem 1,5-fachen der Vorkammererstreckung entlang der Radialrichtung entspricht. Die maximale Vorkammererstreckung entlang der Radialrichtung kann bei einer rotationssymmetrischen Vorkammer wie einem Ringraum oder einem Torus auch als Vorkammerdurchmesser bezeichnet werden.

[0050] Üblicherweise werden die Überströmkanäle mit einem relativ zur Vorkammer kleinen Querschnitt ausgebildet, um ein besonders rasches Durchbrennen und somit einen raschen Transport der Flammenfronten von der Vorkammer in den Brennraum zu erreichen. Hierbei hat es sich besonders bewährt, dass ein Durchmesser der Überströmkanäle weniger als 10 %, vorzugsweise weniger als 5 %, der maximalen Vorkammererstreckung der Vorkammer entlang der Radialrichtung normal zur Mittelachse entspricht. Der Durchmesser der Überströmkanäle entspricht somit üblicherweise weniger als 10 % eines Vorkammerdurchmessers.

[0051] Bevorzugt werden die Überströmkanäle derart dimensioniert, dass ein Erlöschen der Flammenfronten, zuverlässig vermieden ist. Zur Vermeidung eines Erlöschens der Flammenfronten können verschiedene Maßnahmen sowohl konstruktiv als auch im Verfahren umgesetzt werden. So wirkt sich beispielsweise ein größerer Durchmesser der Überströmkanäle günstig aus, zumal ein Volumen der Überströmkanäle quadratisch mit dem Durchmesser steigt, eine Oberfläche, über welche Wärme abgegeben wird, jedoch nur linear. Weiter kann eine übermäßige Abkühlung der Flammenfronten in den Überströmkanälen bzw. ein Erlöschen derselben auch durch eine höhere Temperatur der Überströmkanäle verhindert werden. Hierzu kann beispielsweise vorgesehen sein, dass der Motor nur in einem Volllastbetrieb, wenn der Motor insgesamt und somit auch die Überströmkanäle eine hohe Temperatur aufweisen, in einem Vorkammervorgang betrieben wird und in einem Teillastbetrieb, wenn der Motor eine geringere Temperatur aufweist, der Motor beispielsweise in einem Direkteinspritzverfahren, in welchem das Gemisch im Brennraum mit einer Zündkerze direkt gezündet wird, betrieben wird. Ferner kann zur Vermeidung eines Erlöschens der Flammenfronten in den Überströmkanälen vorgesehen sein, dass die Überströmkanäle ein Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit aufweisen oder aus einem solchen Material gebildet sind.

[0052] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen der Erfindung ergeben sich anhand der nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispiele. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

[0053] Fig. 1 bis 5 Details eines Hubkolbenmotors.

[0054] Fig. 1 bis 5 zeigen ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Hubkolbenmotors mit einer als Ringraum ausgebildeten Vorkammer 3, von welcher aus Überströmkanäle 4 in einen zylinderförmig ausgebildeten Brennraum 1 münden, in welchem ein nicht dargestellter Kolben translatorisch bewegbar angeordnet ist, welcher Kolben in aus dem Stand der Technik bekannter Weise mit einer ebenfalls nicht dargestellten Kurbelwelle verbunden ist, um bei einem Druckanstieg im Brennraum 1 über eine Bewegung des Kolbens eine Rotation der Kurbelwelle um eine Kurbelachse zu erreichen.

[0055] Fig. 1 zeigt dabei Ansaugrohre 14 sowie Auslassrohre 15, welche in den Brennraum 1 münden, sowie Einlassventile 12 und Auslassventile 13, welche die Ansaugrohre 14 und die Auslassrohre 15 verschließen können, sowie die als Ringraum ausgebildete Vorkammer 3, welche über Überströmleitungen mit dem Brennraum 1 verbunden ist. Mittig durch die Vorkammer 3 und entlang einer Rotationsachse der Vorkammer 3, welche hier mit einer Mittelachse 8 des Brennraumes 1 zusammenfällt, ist dabei ein Injektor 11 angeordnet, durch welchen Kraftstoff in die Brennkammer einspritzbar ist. Ein Zylinderkopf 18 selbst, in welchem die Vorkammer 3 und die Überströmkanäle 4 hier angeordnet sind, ist in Fig. 1 nicht dargestellt.

[0056] Durch die vergleichsweise kompakt ausgebildete Vorkammer 3 ist eine rasche vollständige Verbrennung des zündfähigen Gemisches in der Vorkammer 3 gewährleistet. So weist die Vorkammer 3 eine maximale Vorkammererstreckung in einer Radialrichtung 9 normal zur Mittelachse 8 des Brennraumes 1 bzw. einen Vorkammerdurchmesser 5 auf, welche geringer ist als 50 % eines Brennraumdurchmessers 6. Weiter sind die Überströmkanäle 4 wie ersichtlich derart ausgebildet, dass die Vorkammer 3 über die Überströmkanäle 4 an Positionen mit dem Brennraum 1 verbunden ist, welche teilweise radial weit außen in der Brennkammer angeordnet sind.

[0057] Dadurch wird ein Zünden des Gemisches im Brennraum 1 gleichzeitig an unterschiedlichsten Positionen gewährleistet, zumal sich von der Vorkammer 3 ausgehende Flammenfronten mit sehr hoher Geschwindigkeit in den Überströmkanälen 4 ausbreiten. Dadurch kann ein Verfahren erreicht werden, bei welchem in der Vorkammer 3 eine vollständige Verbrennung des Gemisches innerhalb eines Zeitraumes erfolgt, in welchem die Kurbelwelle um weniger als 15° um die Kurbelachse bewegt wird.

[0058] Weiter wird dadurch ein Verfahren erreicht, bei welchem sich die Kurbelwelle vom Beginn einer Verbrennung im Brennraum 1 bis zur vollständigen Verbrennung des Gemisches im Brennraum 1 um weniger als 10° um die Kurbelachse bewegt, sodass nahezu eine Gleichraumverbrennung im Brennraum 1 erreicht ist, welche thermodynamisch besonders günstig ist.

[0059] Fig. 2 zeigt die Vorkammer 3 und die Überströmkanäle 4 im Detail. Wie ersichtlich sind hier einerseits mehrere Überströmkanäle 4 vorgesehen, welche unter einem Winkel α von 90° in die Vorkammer 3 münden, und sind andererseits weitere Überströmkanäle 4 vorgesehen, welche unter einem Winkel α in die Vorkammer 3 münden, welcher kleiner als 90° ist. Während einer Kompressionsphase wird durch die unter einem Winkel α von weniger als 90° in die Vorkammer 3 mündenden Überströmkanäle 4 eine Strömung mit einem Drall in der Vorkammer 3 erreicht, welche zu einer besonders guten Durchmischung des Kraftstoffes in der Vorkammer 3 mit Ansaugluft während einer Verdichtung des Gemisches im Brennraum 1 und gleichzeitig einer guten Spülung der Vorkammer 3 nach einer Verbrennung führen. Wie ersichtlich weisen hier mehrere Überströmkanäle 4 eine Länge auf, welche größer als ein Vorkammerdurchmesser 5 der Vorkammer 3 ist, um ein annähernd gleichzeitiges Zünden des Brennraumes 1 an Positionen im Brennraum 1 zu erreichen, welche weit voneinander beabstandet sind.

[0060] Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch den Zylinderkopf 18 des in Fig. 1 und 2 dargestellten Hubkolbenmotors. Hier ist eine Zündkerze 10 ersichtlich, mit welcher das in der Vorkammer 3 befindliche zündfähige Gemisch gezündet werden kann, um über die Überströmkanäle 4 auch ein Gemisch im Brennraum 1 zu zünden. Darüber hinaus kann auch ein in die Vorkammer 3 mündender Injektor 11 vorgesehen sein, um Kraftstoff in die Vorkammer 3 einspritzen zu können, welcher in Fig. 3 nicht dargestellt ist. Wie weiter ersichtlich münden die Überströmkanäle 4 in eine Fläche 16 des Zylinderkopfes 18, welche den Brennraum 1 begrenzt, und zwar an Positionen, welche verteilt über diese Fläche 16 angeordnet sind und unterschiedliche Radialabstände in

Radialrichtung 9 zur Mittelachse 8 aufweisen, um das Gemisch im Brennraum 1 an mehreren Positionen gleichzeitig zu zünden. Hier ist auch die konstruktive Umsetzung der im Zylinderkopf 18 angeordneten Vorkammer 3 ersichtlich, welche durch den Zylinderkopf 18 einerseits und durch einen im Zylinderkopf 18 angeordneten Einsatz 19 andererseits definiert wird. Der Einsatz 19 kann aus einem Material bestehen, aus welchem auch der Zylinderkopf 18 besteht, oder einem vom Zylinderkopf 18 verschiedenen Material. Wie auch hier ersichtlich ragt die als Injektor 11 ausgebildete Einspritzeinrichtung, mit welchem Kraftstoff in den Brennraum 1 einspritzbar ist, mittig durch die als Ringraum ausgebildete Vorkammer 3 in den Brennraum 1.

[0061] Fig. 4 zeigt den Zylinderkopf 18 von unten in einer Ansicht entlang der Mittelachse 8 des Brennraumes 1 bzw. entlang der Zylinderachse, wobei wiederum die Einlassventile 12 und die Auslassventile 13 dargestellt sind. Weiter sind hier die Positionen ersichtlich, an welchen die Überströmkanäle 4 in den Brennraum 1 bzw. eine Fläche 16 des Zylinderkopfes 18, welche den Brennraum 1 mitdefiniert bzw. an diesen grenzt, münden. Wie ersichtlich münden die Überströmkanäle 4 an Positionen in den Brennraum 1, welche teilweise einen geringeren Radialabstand 17 als Ventilachsen 7 der Einlassventile 12 und der Auslassventile 13 und teilweise einen größeren Radialabstand 17 zur Mittelachse 8 des Brennraumes 1 als diese Ventilachsen 7 aufweisen. Somit weisen einzelne Positionen, an welchen die Überströmkanäle 4 in den Brennraum 1 münden, wie dargestellt einen Abstand 21 voneinander auf, welcher mehr als 50 %, hier sogar mehr als 70 %, des Brennraumdurchmessers 6, beträgt, um eine besonders gleichmäßige Zündung des Gemisches an weit voneinander beabstandeten Positionen im Brennraum 1 zu erreichen.

[0062] Ferner ist in Fig. 4 der Injektor 11 ersichtlich, welcher mittig in den Brennraum 1 ragt und durch welchen Kraftstoff in den Brennraum 1 einspritzbar ist.

[0063] Fig. 5 zeigt einen Schnitt durch den Zylinderkopf 18 im Bereich der Vorkammer 3 normal zur Zylinderachse. Wie ersichtlich sind vier Überströmkanäle 4 vorgesehen, welche unter einem Winkel α von weniger als 90° in die Vorkammer 3 münden, um eine Strömung mit einem Drall in der Vorkammer 3 zu gewährleisten.

[0064] Ein erfindungsgemäßes Verfahren, welches bevorzugt mit einem erfindungsgemäßen ausgebildeten Hubkolbenmotor durchgeführt wird, gewährleistet eine besonders hohe Effizienz bei einem Ottomotor, wobei eine gleichzeitige Zündung des Gemisches im Brennraum 1 über an unterschiedlichsten Positionen in den Brennraum 1 mündende Überströmkanäle 4 erreicht wird, welche mit einer kompakten Vorkammer 3 verbunden sind. Dadurch ist eine besonders hohe Effizienz auch bei einem Ottomotor möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Hubkolbenmotors, wobei ein zündfähiges Gemisch in einem Brennraum (1) gezündet wird, welcher an einen Kolben grenzt, welcher Kolben mit einer um eine Kurbelachse rotierenden Kurbelwelle verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein zündfähiges Gemisch in einer als Ringraum ausgebildeten Vorkammer (3), welche mit dem Brennraum (1) über mehrere Überströmkanäle (4) verbunden ist, gezündet wird, wonach sich Flammenfronten ausgehend von der Vorkammer (3) über die Überströmkanäle (4) bis in den Brennraum (1) ausbreiten und das im Brennraum (1) befindliche Gemisch zünden, sodass die Kurbelwelle aufgrund eines Druckanstieges im Brennraum (1) mittels des Kolbens bewegt wird, wobei eine maximale Vorkammerererstreckung der Vorkammer (3) in einer Radialrichtung (9) normal zu einer Mittelachse (8) des Brennraumes (1) weniger als 50 %, insbesondere weniger als 30 %, einer maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) beträgt und die Verbrennung im Brennraum (1) über die Überströmkanäle (4) an Positionen eingeleitet wird, welche zumindest teilweise einen Abstand (21) voneinander aufweisen, welcher zumindest 50 % einer maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kurbelwelle von einer Zündung des Gemisches in der Vorkammer (4) bis zur vollständigen Verbrennung des Gemisches in der Vorkammer (4) um weniger als 20°, insbesondere weniger als 15°, um die Kurbelachse bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer Bewegung des Kolbens zu einem oberen Totpunkt Gas über die Überströmkanäle (4) in die Vorkammer (3) strömt, wobei in der Vorkammer (3) eine Strömung mit einem Drall erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gemisch in der Vorkammer (3) mit einem elektrisch erzeugten Zündfunken gezündet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass vom Zünden des Gemisches im Brennraum (1) mittels einer ersten Flammenfront bis zu einem Zünden des Gemisches im Brennraum (1) mittels einer letzten Flammenfront die Kurbelwelle um weniger als 20°, insbesondere weniger als 15°, bevorzugt weniger als 10°, bewegt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flammenfronten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch die Überströmkanäle (4) bewegt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flammenfronten in den Überströmkanälen (4) zumindest bereichsweise mit Überschallgeschwindigkeit bewegt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbrennung an zumindest einer Position in den Brennraum (1) eingeleitet wird, welche einen Radialabstand (17) zu einer Mittelachse (8) des Brennraumes (1) von zumindest 35 % eines Brennraumdurchmessers (6) aufweist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbrennung an zumindest einer Position in den Brennraum (1) eingeleitet wird, welche einen Radialabstand (17) zu einer Mittelachse (8) des Brennraumes (1) von maximal 25 % eines Brennraumdurchmessers (6) aufweist.
10. Hubkolbenmotor mit einem Brennraum (1), in welchen ein zündfähiges Gemisch einbringbar ist, um durch ein Zünden des Gemisches im Brennraum (1) mittels eines an den Brennraum (1) angrenzenden, translatorisch bewegbaren Kolbens eine Kurbelwelle in eine Drehbewegung um eine Kurbelachse zu versetzen, wobei eine Vorkammer (3) sowie eine auf die Vorkammer (3) wirkende Zündeinrichtung vorgesehen sind, wobei die Vorkammer (3) mit dem Brennraum (1) über Überströmkanäle (4) verbunden ist, sodass das Gemisch im Brennraum (1) durch Zünden eines zündfähigen Gemisches in der Vorkammer (3) mittels der Zündein-

richtung entzündbar ist, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei eine maximale Vorkammererstreckung der Vorkammer (3) in einer Radialrichtung (9) normal zu einer Mittelachse (8) des Brennraumes (1) weniger als 50 %, insbesondere weniger als 30 %, einer maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) beträgt und die Überströmkanäle (4) an Positionen in den Brennraum (1) münden, welche zumindest teilweise einen Abstand (21) voneinander aufweisen, welcher zumindest 50 % der maximalen Erstreckung des Brennraumes (1) in dieser Radialrichtung (9) entspricht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (3) als Ringraum ausgebildet ist.

11. Hubkolbenmotor nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (3) in einem Zylinderkopf (18) angeordnet ist.
12. Hubkolbenmotor nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (3) eine Einspritzeinrichtung umschließt, mit welcher Kraftstoff in den Brennraum (1) einspritzbar ist.
13. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer (3) ein Volumen aufweist, welches weniger als 20 %, insbesondere weniger als 10 %, eines minimalen Brennraumvolumens entspricht.
14. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige Überströmkanäle (4) unter einem Winkel (α) von weniger als 90° in die Vorkammer (3) münden.
15. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Brennraum (1) Einlassventile (12) und Auslassventile (13) münden, wobei zumindest ein Überströmkanal (4) an einer Position in den Brennraum (1) mündet, welche einen größeren Radialabstand (17) zur Mittelachse (8) des Brennraumes (1) als eine Ventilachse (7) der Einlassventile (12) und/oder eine Ventilachse (7) der Auslassventile (13) aufweist.
16. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Brennraum (1) Einlassventile (12) und Auslassventile (13) münden, wobei zumindest ein Überströmkanal (4) an einer Position in den Brennraum (1) mündet, welche einen kleineren Radialabstand (17) zur Mittelachse (8) des Brennraumes (1) als eine Ventilachse (7) der Einlassventile (12) und/oder eine Ventilachse (7) der Auslassventile (13) aufweist.
17. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Überströmkanäle (4) durch ein Material begrenzt sind, welches eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist, vorzugsweise eine Wärmeleitfähigkeit von weniger als 100 W/(m·K), insbesondere Stahl.
18. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Querschnitt der Überströmkanäle (4) entlang einer Strömungsrichtung von der Vorkammer (3) in den Brennraum (1) zumindest in einem Teilbereich zunimmt.
19. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest einige, vorzugsweise alle, Überströmkanäle (4) eine Länge aufweisen, welche zumindest 20 % eines Brennraumdurchmessers (6) in einer Ebene normal zur Mittelachse (8) des Brennraumes (1) entspricht.
20. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Überströmkanäle (4) an zumindest 8, vorzugsweise zumindest 12, insbesondere 14 bis 20, Positionen in den Brennraum (1) münden.
21. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Länge der Überströmkanäle (4) zumindest einer maximalen Vorkammererstreckung der Vorkammer (3) entlang der Radialrichtung (9) normal zur Mittelachse (8) des Brennraumes (1) entspricht, bevorzugt eine Länge der Überströmkanäle (4) zumindest dem 1,5-fachen der Vorkammererstreckung entlang der Radialrichtung (9) entspricht.

22. Hubkolbenmotor nach einem der Ansprüche 11 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Durchmesser der Überströmkanäle (4) weniger als 10 %, vorzugsweise weniger als 5 %, der maximalen Vorkammerererstreckung der Vorkammer (3) entlang der Radialrichtung (9) normal zur Mittelachse (8) entspricht.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

114

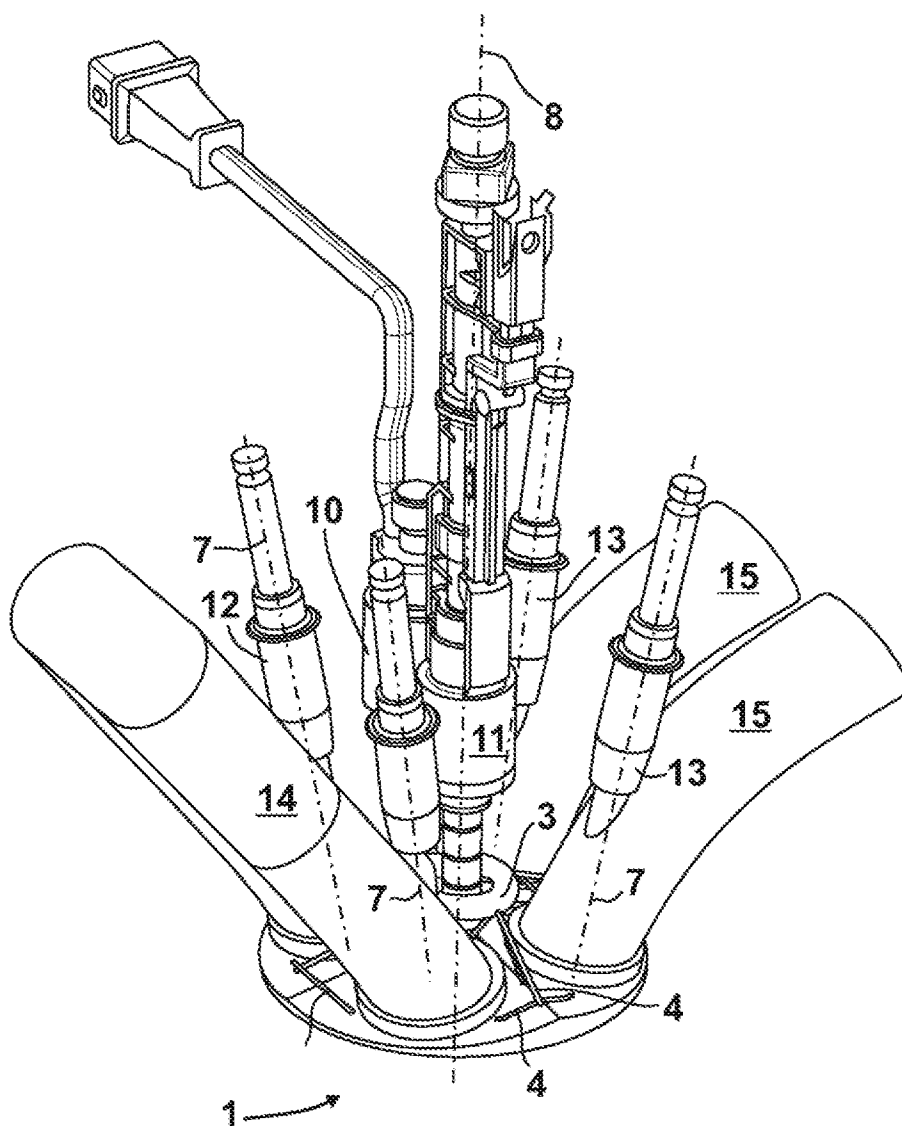


Fig. 1

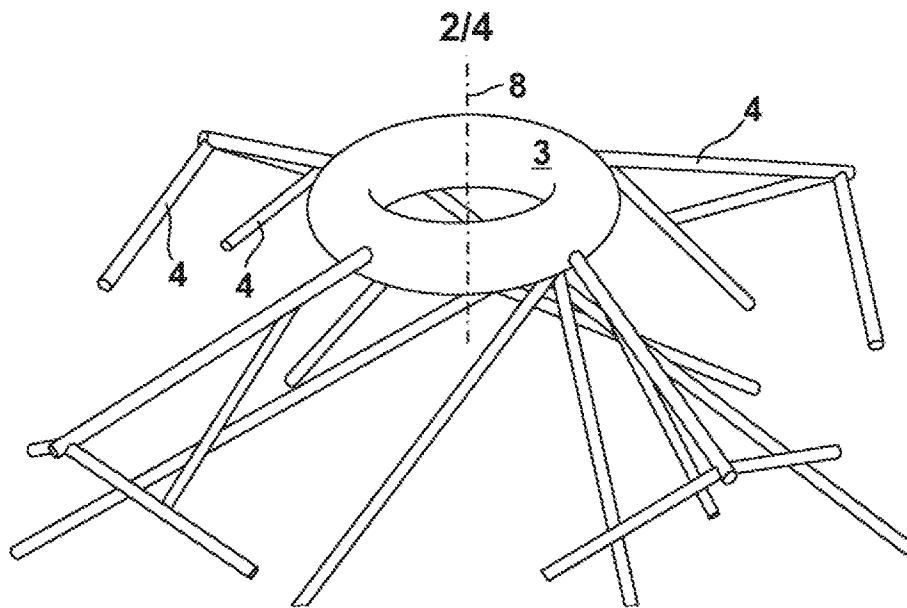


Fig. 2

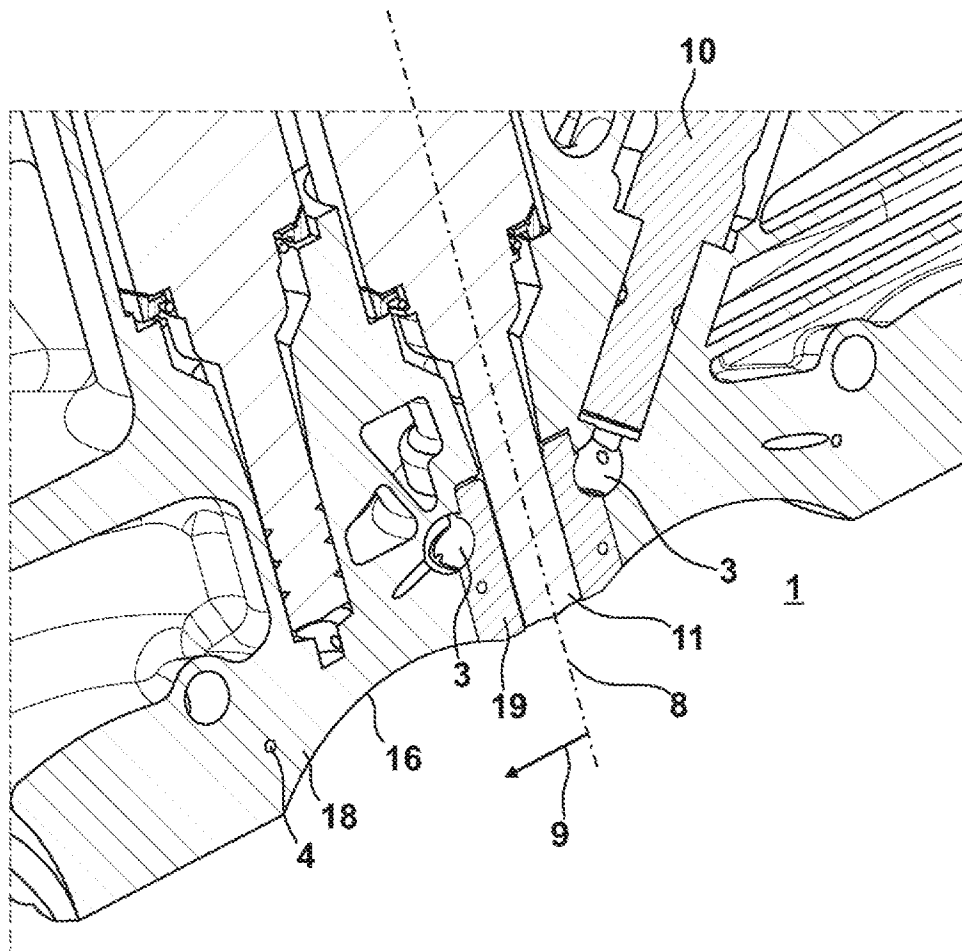


Fig. 3

3/4

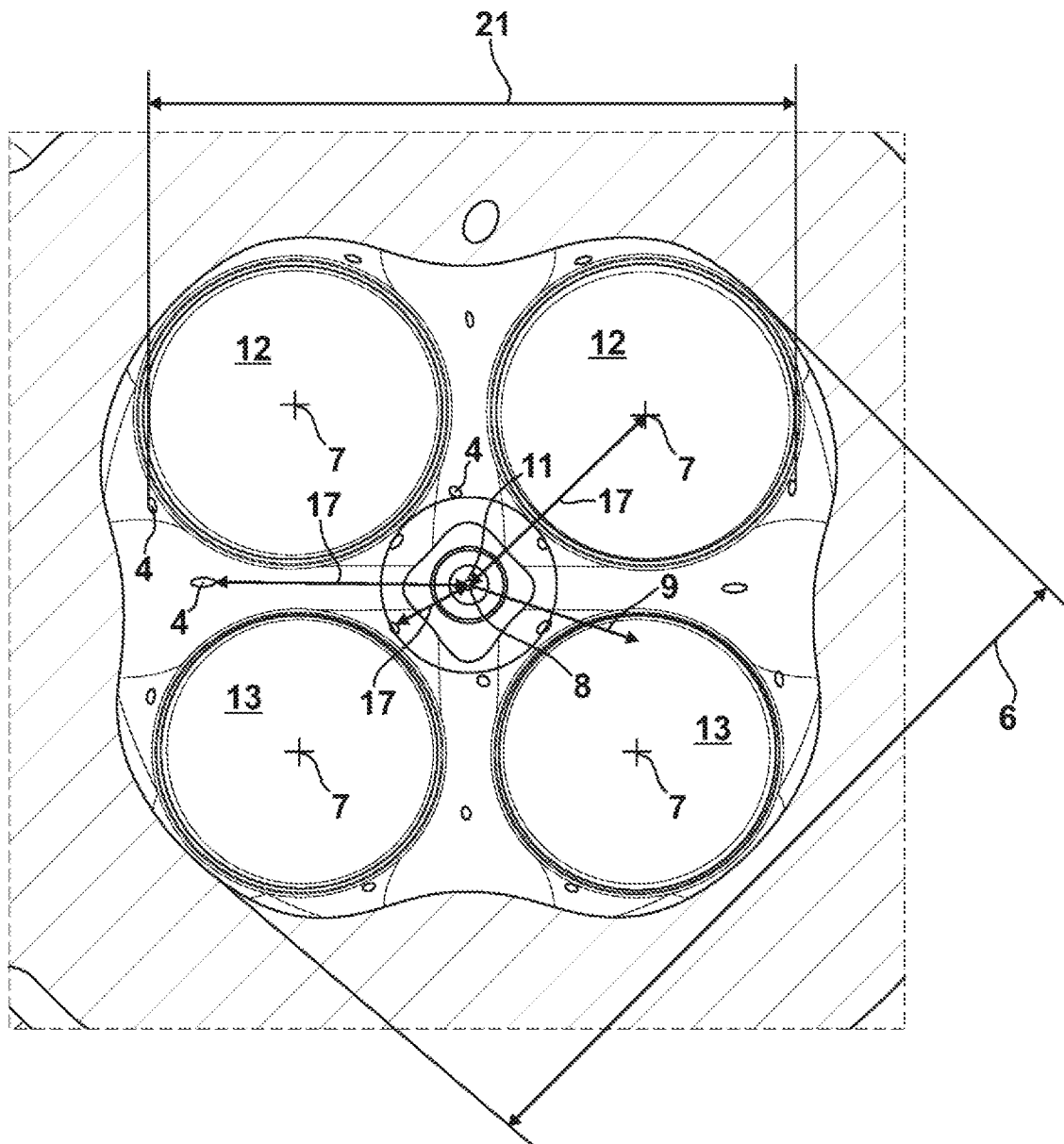


Fig. 4

4/4

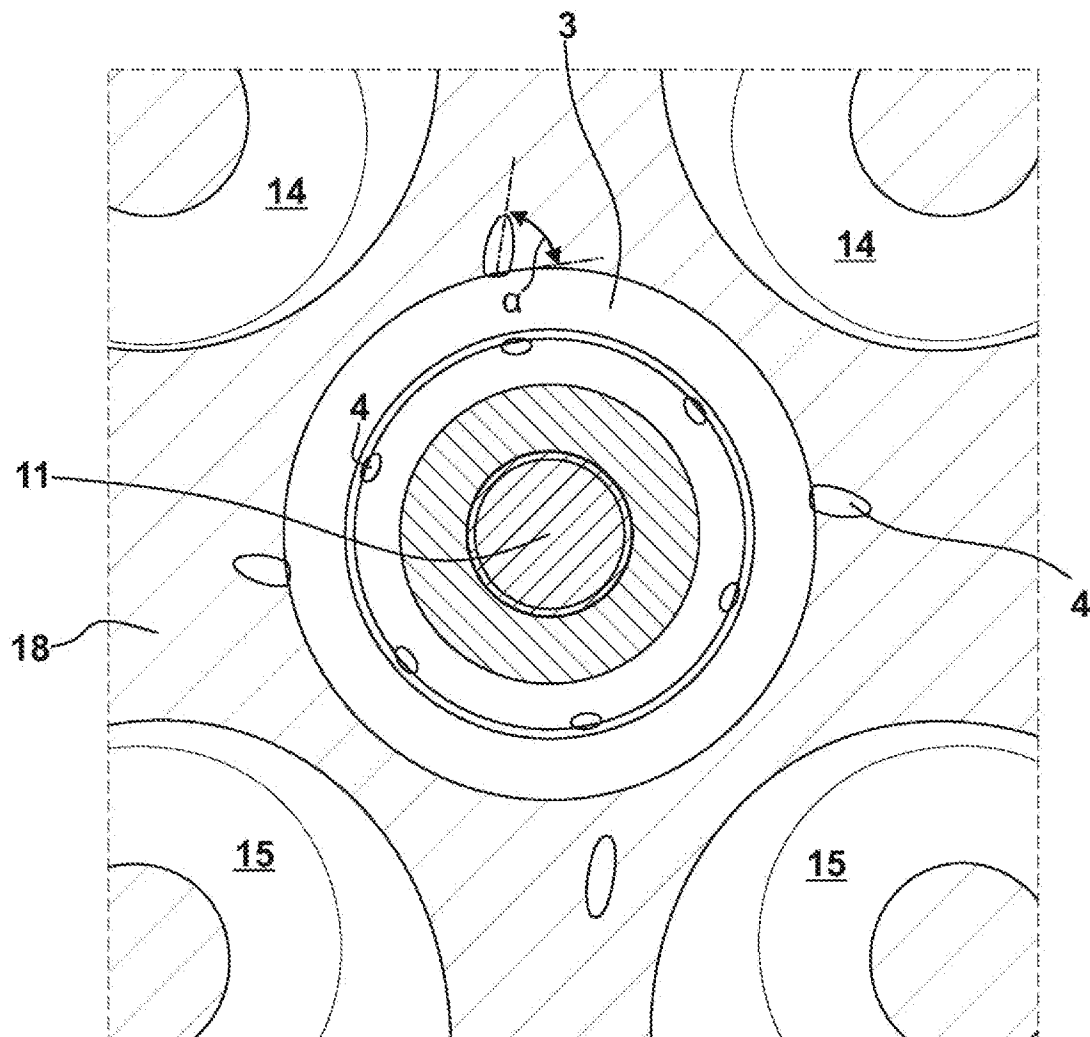


Fig. 5