(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2014 (04.12.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/191085 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
*H01T 13/40* (2006.01) *F02B 19/10* (2006.01)
*F02M 57/06* (2006.01) *H01T 13/54* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/001327

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Mai 2014 (16.05.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102013210125.2 29. Mai 2013 (29.05.2013) DE

(71) Anmelder: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH** [DE/DE]; Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(72) Erfinder: **ERNST, Anko**; Neufracher Straße 7-1, 88682 Salem (DE). **HAHN, Frederik**; Mozartstraße 8, 88987 Eriskirch (DE).

(74) Anwalt: **SPERNAT, Thomas**; ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS AG, Intellectual Property/CLP, Maybachplatz 1, 88045 Friedrichshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

WO 2014/191085 A1

**(54) Title**: PRECHAMBER SPARK PLUG AND GAS ENGINE

**(54) Bezeichnung** : VORKAMMER-ZÜNDKERZE UND GASMOTOR

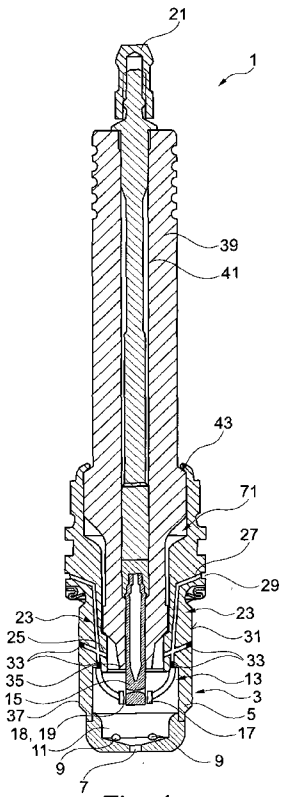



Fig. 1

**(57) Abstract**: The invention relates to a prechamber spark plug (1) having a housing (3) which has a prechamber (11) which is enclosed by a wall (5) which is penetrated by at least one shooting channel (7, 9), and having an ignition device (13) which is configured to ignite a combustible mixture which is arranged in the prechamber (11), wherein the housing (3) is penetrated by at least one feed channel (23) which opens at a first end (25) into the prechamber (11) and at a second end (27) outside the housing (3) into a feed device (77) for an enriching fuel. It is provided here that the feed channel (23) is of capillary configuration and extends substantially in the longitudinal direction of the prechamber spark plug (1).

**(57) Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft eine Vorkammer-Zündkerze (1) mit einem Gehäuse (3), das eine von einer von mindestens einem Schusskanal (7,9) durchsetzten Wandung (5) umschlossene Vorkammer (11) aufweist, und mit einer Zündeinrichtung (13), die ausgebildet ist, um ein in der Vorkammer (11) angeordnetes zündfähiges Gemisch zu entzünden, wobei das Gehäuse (3) durch mindestens einen Zuführkanal (23) durchsetzt ist, der an einem ersten Ende (25) in die Vorkammer (11) und an einem zweiten Ende (27) außerhalb des Gehäuses (3) in eine Zuführ-Einrichtung (77) für einen Anfettungsbrennstoff mündet. Dabei ist vorgesehen, dass der Zuführkanal (23) kapillarförmig ausgebildet ist und sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer- Zündkerze (1) erstreckt.

RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht**:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

BESCHREIBUNG

# Vorkammer-Zündkerze und Gasmotor

Die Erfindung betrifft eine Vorkammer-Zündkerze gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie einen Gasmotor gemäß Oberbegriff des Anspruchs 11.

Bei der Entwicklung von Gasmotoren tritt in zu nehmendem Maße ein Zielkonflikt zwischen einem hohen Wirkungsgrad einerseits und einer geringen Schadstoffemission andererseits in den Vordergrund. Um die Schadstoffemissionen, insbesondere Stickoxid-Emissionen, abzusenken, wird eine einem Brennraum des Gasmotors zugeführte Frischladung stark abgemagert. Der hierdurch auftretende Leistungsverlust kann zumindest teilweise durch Aufladung wieder ausgeglichen werden. Es zeigt sich allerdings, dass es insbesondere bei großen Gasmotoren nur schwer möglich ist, das stark abgemagerte Gemsich in dem Brennraum sicher zu entflammen. Um diesem Problem abzuhelfen, ist es möglich, den Brennraum in einen Hauptbrennraum einerseits und eine Vorkammer andererseits zu unterteilen. Hierzu sind inbesondere Vorkammer-Zündkerzen bekannt geworden, welche ein Gehäuse mit einer Wandung aufweisen, die durch mindestens einen Schusskanal durchsetzt ist. Die Wandung umschließt eine Vorkammer, die ein sehr viel kleineres Volumen als der Hauptbrennraum aufweist. Es ist eine Zündeinrichtung vorgesehen, die ausgebildet ist, um ein in der Vorkammer angeordnetes, zündfähiges Gemisch zu entzünden.

Es kann unterschieden werden zwischen gespülten Vorkammern und ungespülten Vorkammern. Insbesondere ungespülte Vorkammern sind regelmäßig integriert mit der Zündkerze als Vorkammer-Zündkerze ausgebildet, wobei der Gasmotor eine integrierte Vorkammer-Zündkerze aufweist. Während eines Kompressionshubs eines in einem den Hauptbrennraum umfassenden Zylinder oszillierbar aufgenommenen Kolbens wird Frischgas aus dem Hauptbrennraum über den mindestens einen Schusskanal in die Vorkammer gedrängt. Die Zündenergie der Zündeinrichtung reicht aus, um das in der Vorkammer vorhandene Gemisch sicher zu entflammen. Das entflammte Gemisch schießt in Form einer sogenannten Zündfackel über den mindestens einen Schusskanal in den Hauptbrennraum und entzündet dort mit einer um die Energie des in der Vorkammer verbrannten Gemischs vermehrten Zündenergie auch das

Gemisch in der Hauptkammer. Somit steht eine ausreichende Zündenergie auch zur sicheren Entflammung des Gemischs in dem Hauptbrennraum zur Verfügung.

Demgegenüber sind gespülte Vorkammern häufig nicht integriert mit der Zündkerze, mithin nicht als Vorkammer-Zündkerze ausgebildet, sondern Teil des Zylinders oder eines Zylinderkopfes, durch den der Hauptbrennraum – in Längsrichtung des Zylinders gesehen – dem Kolben gegenüberliegend abgeschlossen ist. Der gespülten Vorkammer wird über eine separate Brenngasversorgung Brenngas zugeführt, wodurch das Gemisch in der Vorkammer lokal angefettet wird. Das entsprechend fette Gemisch wird mithilfe der Zündeinrichtung in der Vorkammer entzündet und schießt als Zündfackel durch den mindestens einen Schusskanal in den Hauptbrennraum, wo nun auch das sehr viel magerere Gemisch sicher entflammt werden kann.

Ob eine gespülte oder eine ungespülte Vorkammer eingesetzt wird, hängt von der Größe des Gasmotors ab. Aufgrund der separaten Brenngasversorgung benötigt eine gespülte Vorkammer einen deutlich größeren Bauraum als eine ungespülteVorkammer, die sehr viel kompakter realisiert werden kann. Gerade bei mittleren oder kleinen Gasmotoren ist daher das Konzept der gespülten Vorkammer kaum einsetzbar. Andererseits zeigt sich, dass der mit ungespülten Vorkammern erzielbare Verstärkungseffekt der durch die Zündeinrichtung bereitgestellten Zündenergie vor allem durch die kompakte Bauweise solcher Vorkammern limitiert ist. Zugleich begrenzt das magere Gemisch aus dem Hauptbrennraum, welches durch das in der Vorkammer verbleibende Restgas weiter abgemagert und inertisiert wird, das maximal realisierbare Vorkammervolumen bei ungespülten Vorkammern. Der Verstärkungseffekt einer ungespülten Vorkammer reicht daher für größere Gasmotoren, insbesondere für Großmotoren, nicht aus.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 101 33 190 A1 geht eine Vorkammer-Zündkerze hervor, bei der das Gehäuse von einem Zuführkanal durchsetzt ist, der an einem ersten Ende in die Vorkammer und an einem zweiten Ende außerhalb des Gehäuses in eine Zuführ-Einrichtung für einen Anfettungsbrennstoff mündet. Der Zuführkanal verläuft in dem Gehäuse über eine sehr kurze Strecke im Wesentlichen schräg. Dabei weist er einen im Vergleich zu seiner Länge großen Durchmesser auf. In den Zuführkanal ist ein Ventil eingesetzt, mit dem eine der Vorkammer zugeführte Menge an Anfettungsbrennstoff gesteuert werden kann. Bezogen auf das Volumen derVorkammer umfasst der Zuführkanal einen nicht unerheblichen Bauraum, schätzungsweise etwa 40 % des Vorkammervolumens. Aufgrund des relativ großen

Durchmessers des Kanals ist es möglich, dass Flammen aus dem Hauptbrennraum und der Vorkammer in den Zuführkanal und letztlich auch in die Zuführ-Einrichtung zurückschlagen, weshalb in dieser ein Flammenfilter vorgesehen sein muss. Es zeigt sich auch, dass eine nicht unerhebliche Menge an Restgas in das relativ große Volumen des Kanals gedrängt werden kann, sodass es nötig ist, den Kanal regelmäßig mit Spülgas oder Luft zu spülen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorkammer-Zündkerze und einen Gasmotor zu schaffen, welche die genannten Nachteile nicht aufweisen. Insbesondere soll die Vorkammer-Zündkerze möglichst kompakt ausgebildet sein und so die Vorteile einer ungespülten Vorkammer mit den Vorteilen einer gespülten Vorkammer kombinieren. Es soll somit möglich sein, die Vorkammer-Zündkerze auch bei kleineren Gasmotoren einzusetzen, bei welchen die Verwendung einer klassischen, gespülten Vorkammer nicht möglich ist.

Die Aufgabe wird gelöst, indem eine Vorkammer-Zündkerze mit den Merkmalen des Anspruchs 1 geschaffen wird. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass der Zuführkanal kapillarförmig ausgebildet ist, wobei er sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze erstreckt. Dabei spricht der Begriff „kapillarförmig" an, dass der Zuführkanal einen im Vergleich zu seiner Länge kleinen Durchmesser aufweist. Bevorzugt liegt ein Verhältnis des Durchmessers zu der Länge des Zuführkanals im einstelligen Prozentbereich. Daher, und weil sich der kapillarförmige Zuführkanal im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze erstreckt, kann – in radialer Richtung gesehen – erheblich Bauraum eingespart werden. Die Vorkammer-Zündkerze, welche den Zuführkanal als integralen Bestandteil des Gehäuses umfasst, kann so sehr kompakt und klein gebaut werden, sodass sie auch bei kleineren Gasmotoren einsetzbar ist. Zugleich ist es möglich, über den Zuführkanal Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer zu führen, sodass über eine bereichsweise Anfettung des Gemischs in der Vorkammer eine größere Erhöhung der Zündenergie erhalten werden kann, als dies bei einer ungespülten Vorkammer der Fall ist.

Dass sich der Zuführkanal im Wesentlichen in Längsrichtung erstreckt, schließt nicht aus, dass er auch mindestens einen Kanalabschnitt umfasst, der sich bereichsweise im Wesentlichen in radialer Richtung oder schräg in dem Gehäuse erstreckt. Vielmehr spricht die Erstreckung des Zuführkanals im Wesentlichen in Längsrichtung an, dass dessen Grundausrichtung – insgesamt betrachtet – und somit auch eine Strömungsrichtung des Anfettungsbrennstoffs in dem Zuführkanal im Wesentlichen in Längsrichtung verlaufen. Dabei wird insbesondere bevorzugt,

dass eine Erstreckung des Zuführkanals in Längsrichtung größer ist als eine Erstreckung in radialer Richtung. Besonders bevorzugt beträgt das Verhältnis zwischen der Erstreckung des Zuführkanals in Längsrichtung und dessen Erstreckung in radialer Richtung mindestens 2, wobei es bevorzugt größer als 2 ist.

Unter der Längsrichtung oder axialen Richtung ist eine Richtung zu verstehen, die sich in Richtung einer Längs- und bevorzugt auch Symmetrieachse der Vorkammer-Zündkerze erstreckt. Eine radiale Richtung ist eine Richtung, die senkrecht auf der Längsrichtung steht. Eine Umfangsrichtung ist eine Richtung, welche die Längsrichtung konzentrisch umgreift.

Als Anfettungsbrennstoff wird vorzugsweise Brenngas verwendet, mithin insbesondere der gleiche Brennstoff, der auch im Übrigen zum Betrieb des Gasmotors verwendet wird. Alternativ ist es möglich, über den mindestens einen Zuführkanal ein Brenngas/Luft-Gemisch zuzuführen.

Aufgrund des sehr kleinen Volumens, welches der kapillarförmige Zuführkanal aufweist, bedarf es keines Ventils unmittelbar im Bereich der Einmündung des Zuführkanals in die Vorkammer. Trotzdem kann aufgrund des sehr kleinen Totvolumens innerhalb des Kanals eine präzise Dosierung auch kleiner Mengen an Anfettungsbrennstoff realisiert werden. Auch dies trägt zur Bauraumersparnis und zur kompakten Ausbildung der Vorkammer-Zündkerze bei. Insgesamt ist es möglich, die Vorkammer-Zündkerze in Hinblick auf ihren Bauraum ähnlich kompakt auszubilden wie eine Vorkammer-Zündkerze mit klassischer, ungespülter Vorkammer. Somit ist es möglich, den Vorteil der Kompaktheit einer ungespülten Vorkammer mit dem Vorteil einer verstärkten Zündenergieerhöhung einer gespülten Vorkammer zu kombinieren.

Durch seine Kapillarform weist der mindestens eine Zuführkanal ein hohes Verhältnis einer Oberfläche zu seinem Volumen auf. Daher können erhebliche Wärmemengen über die Oberfläche des Zuführkanals an das Gehäuse abgeführt werden. Eine gegebenenfalls aus dem Hauptbrennraum oder der Vorkammer in den Zuführkanal zurückschlagende Flamme wird – ähnlich wie in einem Flammfilter – in dem kapillarförmigen Zuführkanal thermisch gelöscht, weil ihr über die hohe Oberfläche des Zuführkanals soviel Wärmeenergie entzogen wird, dass die Verbrennung stoppt. Ein bauteilschädigendes Rückschlagen von Flammen in den Zuführkanal ist damit ausgeschlossen. Auf einen separaten Flammfilter kann verzichtet werden. Dies ist kostengünstig und spart weiterhin Bauraum.

Aufgrund der sehr kompakten Bauweise der integrierten Vorkammer-Zündkerze ist es weiterhin möglich, bei gegebener Größe des Gasmotors, in welchem die Vorkammer-Zündkerze verwendet wird, den Zylinderkopf kleiner und kompakter auszubilden. Hierdurch kann bei dem Gasmotor selbst Bauraum eingespart werden.

In Hinblick auf die Verwendung der Vorkammer-Zündkerze in einem Gasmotor zeigt sich Folgendes: Typischerweise werden gespülte Vorkammern ab einem den Hauptbrennraum definierenden Bohrungsdurchmesser eines Zylinders von ungefähr 200 mm verwendet. Ab einem Bohrungsdurchmesser von 130 mm werden typischerweise ungespülte Vorkammern verwendet. Bei kleineren Bohrungsdurchmessern sind offene Zündkerzen ohne Vorkammer üblich. Gerade in einem Bereich des Bohrungsdurchmessers von etwa 150 mm bis 180 mm ergibt sich das Problem, dass für eine gespülte Vorkammer eigentlich zu wenig Bauraum zur Verfügung steht, wobei das Volumen des Hauptbrennraums wiederum zu groß ist, um noch effizient und wirksam mithilfe einer ungespülten Vorkammer entflammt zu werden. Gerade in diesem Bereich sowie bei Bauraumbeschränkungen anderer Art ist die hier vorgeschlagene Vorkammer-Zündkerze dank der voll integrierten Bauweise vorteilhaft einsetzbar. Besonders bevorzugt wird sie bei einem Gasmotor eingesetzt, der eine Zylinderbohrung mit einem Durchmesser von ungefähr 170 mm aufweist. Dabei reicht der zur Verfügung stehende Bauraum ohne Weiteres aus, die kompakte, integrierte Vorkammer-Zündkerze zu montieren, wobei diese zugleich über den kapillarförmigen Zuführkanal eine ausreichende Anfettung des Gemischs in der Vorkammer ermöglicht, um eine sichere Entflammung des Gemischs in dem Hauptbrennraum zu gewährleisten. Insbesondere wird durch die Zufuhr von Anfettungsbrennstoff ein Brenngasanteil innerhalb der Vorkammer erhöht, wodurch sich das Zündverhalten verbessert und ein Energieeintrag in dem Hauptbrennraum erhöht wird. Hierdurch ergibt sich eine Wirkungsgradsteigerung für den Gasmotor, insbesondere indem ein schnellerer Durchbrand gewährleistet sowie eine Anhebung des effektiven Mitteldruckes in dem Hauptbrennraum bewirkt wird. Auf diese Weise ist es möglich, das Gemisch in dem Hauptbrennraum zum Zwecke der Stickoxid-Reduzierung abzumagern, wobei gleichwohl die Zündsicherheit gewahrt bleibt. Die Verbrennungsstabilität wird verbessert, was insbesondere dazu beiträgt, dass Zyklenschwankungen reduziert werden.

Ein Verhältnis des Durchmessers zu der Länge des mindestens einen Zuführkanals beträgt vorzugsweise von mindestens 0,5 % bis höchstens 3 %, vorzugsweise von mindestens 1 % bis höchstens 2,5 %, besonders bevorzugt 2 %.

Es wird eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass sie zur Anordnung in einer Hülse, vorzugsweise einer Wasserhülse, ausgebildet ist. Dabei weist das Gehäuse bevorzugt ein Außengewinde auf, welches zum Einschrauben in ein entsprechendes Innengewinde der Hülse, insbesondere der Wasserhülse vorgesehen ist. Die Hülse ist also nicht selbst Teil des Gehäuses, sondern die voll integrierte Zündkerze, welche das Gehäuse umfasst, wird bestimmungsgemäß in der Hülse angeordnet und besonders bevorzugt mit dieser verschraubt. Dabei weist nicht die Hülse, sondern vielmehr das Gehäuse der Zündkerze den mindestens einen, kapillarförmigen und sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze erstreckenden Zuführkanal auf. Dieser ist somit voll in die Vorkammer-Zündkerze integriert, wodurch sich eine sehr kompakte, integrale Bauweise ergibt.

Es wird auch eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der mindestens eine Zuführkanal einen Durchmesser aufweist, der von mindestens 0,5 % bis höchstens 10 % eines Durchmessers der Vorkammer beträgt. Typische Durchmesser von Vorkammern der hier angesprochenen Art liegen im Bereich von ungefähr 10 mm bis 20 mm. Der Zuführkanal ist also im Vergleich zu der Vorkammer sehr klein ausgebildet. Entsprechend ist auch ein Volumen des mindestens einen Zuführkanals klein im Verhältnis zu dem Volumen der Vorkammer. Bevorzugt beträgt der Durchmesser des mindestens einen Zuführkanals von mindestens 0,1 mm bis höchstens 1 mm, besonders bevorzugt 0,4 mm. Es ist möglich, dass der Zuführkanal in dem Gehäuse durch Bohren hergestellt ist. Es wird allerdings auch ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei dem der kapillarförmige Zuführkanal durch Erodieren hergestellt ist. Dabei ist es ohne Weiteres möglich, auch in Großserie Zuführkanäle mit einem Durchmesser von 0,4 mm auf eine Länge von bis zu 50 mm zu erodieren.

Es zeigt sich, dass der mindestens eine Zuführkanal insbesondere im Verhältnis zum Volumen der Vorkammer ein sehr kleines Volumen aufweist. Hierdurch kann auch höchstens ein sehr kleiner Anteil des in der Vorkammer noch vorhandenen Restgases in den mindestens einen Zuführkanal gedrängt werden. Dieses kleine Restgasvolumen ist ohne Weiteres unmittelbar beim Eindüsen von Anfettungsbrennstoff über den Zuführkanal in die Vorkammer ausblasbar. Es bedarf daher keiner separaten Spülung des Zuführkanals mit einem Spülgas oder mit Luft. Vorteilhaft kommt hinzu, dass der Anfettungsbrennstoff im Bereich des kapillarförmigen, mithin sehr dünnen Zuführkanals eine hohe Strömungsgeschwindigkeit aufweist, welche das Restgas leicht austreibt. Schlägt partiell eine Flamme in den Zuführkanal zurück, kann in der kurzen Zeit,

bevor diese thermisch gelöscht wird, nur eine geringe Menge Ruß in dem Zuführkanal entstehen. Diese ist jedoch so gering, dass der Ruß insbesondere durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit des Anfettungsbrennstoffs in dem sehr dünnen Zuführkanal beim Eindüsen des Anfettungsbrennstoffs ausgetrieben wird. Es besteht daher keine Gefahr, dass der Zuführkanal durch den Ruß verstopft wird.

Aufgrund der Kapillarform des Zuführkanals, also insbesondere durch den sehr kleinen Durchmesser und das sehr kleine Volumen, ergeben sich insgesamt im Vergleich zu einem größeren Zuführkanal folgende Vorteile: Ein Rückschlagen von Flammen aus dem Hauptbrennraum oder der Vorkammer kann nur über eine sehr kurze Zeit erfolgen, da die Flamme quasi unmittelbar aufgrund der hohen Oberfläche des Zuführkanals im Vergleich zu dessen Volumen thermisch gelöscht wird. Dabei gegebenenfalls noch entstehender Ruß kann ohne Weiteres aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Anfettungsbrennstoffs in dem Zuführkanal beim nächsten Einblasen von Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer ausgetrieben werden. Es wird nur ein sehr geringer Anteil von Restgas aus der Vorkammer in den Zuführkanal gedrängt. Dieser kleine Anteil kann ebenfalls durch den Anfettungsbrennstoff insbesondere aufgrund von dessen hoher Strömungsgeschwindigkeit ohne zusätzliche Spülung ausgetrieben werden. Die Bauform der Vorkammer-Zündkerze ist äußerst kompakt.

Es wird eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der mindestens eine Zuführkanal im Bereich des ersten Endes auf einen Zündbereich in der Vorkammer hin ausgerichtet ist. Die Vorkammer weist einen Zündbereich auf, in welchem im Wesentlichen die Zündung des in der Vorkammer vorliegenden Gemischs stattfindet. Je nach Konstruktion der Vorkammer kann dabei eine sogenannte wandnahe Zündlage, also eine Zündung im Bereich der Wandung, oder eine zentrale Zündlage, mithin eine Zündung in einem mittleren Bereich der Vorkammer, realisiert werden. Durch die Ausrichtung des Zuführkanals im Bereich seines ersten Endes auf den Zündbereich wird inertisiertes Restgas beim Einblasen des Anfettungsbrennstoffs aus dem Zündbereich ausgetrieben. Zugleich wird der Anfettungsbrennstoff gezielt in den Zündbereich eingebracht, sodass hier eine sichere Entflammung mit guter Erhöhung der Zündenergie erreicht werden kann. Besonders bevorzugt ist der Zuführkanal im Bereich seines ersten Endes derart ausgerichtet, dass eine Restgasströmung in der Vorkammer durch den einströmenden Anfettungsbrennstoff derart beeinflusst wird, dass Restgas über den mindestens einen Schusskanal in den Hauptbrennraum ausgetragen wird.

Es zeigt sich, dass das Vorkammervolumen typischerweise in der Größenordnung von ungefähr 1000 $mm^3$ bis 1600 $mm^3$ liegt, wobei zirka 200 $mm^3$ an intertisiertem Restgas hiervon umfasst sind. Dieser Volumenanteil ist für die Zündung in der Vorkammer nicht unerheblich. Ist es aber möglich, das Restgas weitgehend in den Hauptbrennraum auszutragen, entfaltet es dort kaum noch eine störende Wirkung, weil das Volumen des Hauptbrennraums typischerweise in der Größenordnung von 4 L bis 5 L liegt. Es ist offensichtlich, dass hier ein Restgasvolumen von 200 $mm^3$, das aus der Vorkammer ausgetrieben wird, keine bedeutende Rolle in Hinblick auf die Verbrennungsentwicklung spielt.

Es ist auch bei einem Ausführungsbeispiel der Vorkammer-Zündkerze möglich, dass das erste Ende des Zuführkanals nicht auf den Zündbereich, sondern auf einen anderen Bereich der Vorkammer derart ausgerichtet ist, dass sich gleichwohl im Zündbereich durch eine von dem eingebrachten Anfettungsbrennstoff beeinflusste Gasströmung verbesserte Zündbedingungen ergeben. Bevorzugt ist der Zuführkanal im Bereich des ersten Endes auf mindestens einen zu kühlenden Bereich ausgerichtet. Insbesondere ist es möglich, dass das erste Ende des Zuführkanals auf einen Isolatorfuß der Zündeinrichtung, insbesondere einen Isolatorfuß einer Mittelelektrode, ausgerichtet ist, wobei dessen Oberfläche in vorteilhafter Weise zusätzlich zu der Anfettung des Gemischs in der Vorkammer durch den einströmenden Anfettungsbrennstoff gekühlt wird.

Durch die gezielte Eindosierung des Anfettungsbrennstoffs wird die Gemischqualität in der Vorkammer lokal angehoben. Während im Hauptbrennraum beispielsweise ein Lambda-Wert von 1,7 angestrebt wird, wird durch gezielte Anfettung in der Vorkammer zumindest bereichsweise ein Lambda-Wert von 1 erreicht. Dabei wird der Anfettungsbrennstoff vorzugsweise über die Ausrichtung des Zuführkanals derart um den Zündbereich geschichtet, dass sich ein schneller, gleichmäßiger Durchbrand in Richtung der Schusskanäle ergibt. Damit ist es möglich, nur die Menge an Anfettungsbrennstoff über den Zuführkanal in die Vorkammer einzubringen, die tatsächlich zur Erhöhung der Zündenergie benötigt wird. Weil diese nämlich räumlich-geometrisch günstig in der Vorkammer verteilt wird, sodass sich genau dort eine gute Gemischqualität ergibt, wo dies erforderlich ist, bedarf es keiner Überdosierung des Anfettungsbrennstoffs.

Anders als bei gespülten Vorkammern, die typischerweise mit Anfettungsbrennstoff geflutet werden, ist es bei der hier vorgeschlagenen Vorkammer-Zündkerze durch die gezielte Ausrichtung des Zuführkanals möglich, nur partiell genau den Volumenbereich innerhalb der Vorkammer anzufetten, in welchem tatsächlich die Zündung stattfindet beziehungsweise die Zündenergie erhöht werden soll. Es wird somit das Konzept einer teilweise gespülten, lokal gespülten oder partiell gespülten Vorkammer realisiert, wodurch eine sehr hohe Effizienz der Zündenergieverstärkung bei zugleich minimierter Zufuhr von Anfettungsbrennstoff gegeben ist. Dadurch ist es nicht zuletzt möglich, den Brennstoffverbrauch des Gasmotors, in welchem die Vorkammer-Zündkerze eingesetzt wird, zu senken. Dabei liegt der Fokus des hier vorgeschlagenen Konzepts nicht primär auf einer quantitativen Verdrängung von Restgas aus dem gesamten Vorkammervolumen, sondern vielmehr auf einer gezielten, lokalen Anhebung der Gemischqualität in den Bereichen, in denen dies gewünscht, sinnvoll und effizient ist. Selbstverständlich wird dabei zugleich auch Restgas verdrängt und insbesondere in den Hauptbrennraum ausgeschoben.

Durch die partielle Spülung der Vorkammerzündkerze wird nur so viel Brenngas in die Vorkammer eingebracht wie für die Erreichung der gewünschten Effekte notwendig ist. Hierdurch wird gegenüber dem Stand der Technik per se weniger Wärme eingetragen und eine dem gegenüber verlängerte Zündkerzen-Lebensdauer ermöglicht. Des Weiteren wird durch Ladungsschichtung in der Vorkammer vor allem eine geringere Stickoxid- ($NO_x$) und/oder Gesamtkohlenwasserstoff-Emission (THC) erreicht.

Gleichwohl ist es jedoch auch bei der hier vorgeschlagenen Vorkammer-Zündkerze möglich, die Vorkammer mit Anfettungsbrennstoff zu fluten oder sogar zu überblasen, sodass Anfettungsbrennstoff über den mindestens einen Schusskanal in den Hauptbrennraum ausgetragen wird. Dieser Effekt kann insbesondere genutzt werden, um die einzelnen Zylinder des bevorzugt mehrere Zylinder umfassenden Gasmotors in Hinblick auf ihre zylinderindividuelle Leistungsabgabe gleichzustellen. Leistungsmäßig benachteiligte Zylinder, die beispielsweise mit einer im Vergleich zu anderen Zylindern zu geringen Frischgasmenge versorgt werden, können über die zylinderindividuell überblasene Vorkammer einen erhöhten Anteil an Anfettungsbrennstoff erhalten, sodass sei den leistungsmäßig bevorzugten Zylindern angeglichen werden. Dadurch wird insgesamt das Verbrennungsverhalten des Gasmotors vergleichmäßigt, Zyklenschwankungen werden reduziert, und sein Wirkungsgrad wird erhöht.

Insbesondere um eine Ungleichverteilung der zylinderindividuellen Leistung festzustellen, ist vorzugsweise ein Drucksensor in mindestens einem Zylinder, gegebenenfalls in jeweils einem Zylinder verschiedener Zylinderbänke des Gasmotors, oder in jedem Zylinder vorgesehen. Dabei ist es möglich, dass die Vorkammer-Zündkerze einen integrierten Drucksensor aufweist. Dies ist eine besonders bauraumsparende, effiziente und kostengünstige Lösung.

Typischerweise weist die Vorkammer einen zentralen Schusskanal sowie eine Mehrzahl radial oder tangential ausgerichteter Schusskanäle auf. Dabei wird typischerweise bei ungespülten Vorkammern insbesondere der zentrale Schusskanal vergrößert ausgebildet, um möglichst viel Gemisch während des Kompressionshubs des Kolbens in die Vorkammer einbringen zu können. Hierdurch ist aber die Ladungsbewegung gerade im Zündbereich sehr hoch, was ungünstig für die Entflammung des Gemischs in der Vorkammer ist. Durch die gezielte, gegebenenfalls geschichtete Anfettung des Gemischs bei der hier vorgeschlagenen Vorkammer-Zündkerze ist es möglich, den zentralen Schusskanal, der auch als Mittelbohrung bezeichnet wird, deutlich zu verkleinern. Damit werden strömungsdynamisch die radialen oder tangentialen Bohrungen beziehungsweise Schusskanäle funktional gestärkt. Die Ladungsbewegung in der Vorkammer wird vergleichmäßigt und gestaltet sich gerade in Hinblick auf den Zündbereich günstiger.

Es wird eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass eine Mehrzahl von Zuführkanälen entlang eines Umfangs des Gehäuses angeordnet ist. Dabei ist die Mehrzahl von Zuführkanälen vorzugsweise symmetrisch entlang des Umfangs verteilt, also insbesondere in gleichen Winkelabständen zueinander. Besonders wird ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei welchem drei Zuführkanäle vorgesehen sind. Alternativ wird ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei welchem vier Zuführkanäle vorgesehen sind. Sind drei Zuführkanäle vorgesehen, sind diese vorzugsweise – in Umfangsrichtung gesehen – jeweils durch einen Winkel von 120° voneinander beabstandet. Vier Zuführkanäle sind vorzugsweise durch einen Winkel von 90° voneinander beabstandet. Alternativ ist es auch möglich, einen sich entlang des Umfangs des Gehäuses erstreckenden Ringspalt als Zuführkanal vorzusehen. Auch so ist eine symmetrische Zufuhr des Anfettungsbrennstoffs in die Zündkammer gewährleistet.

Bei der Bestimmung der Zahl und Anordnung der Zuführkanäle ist zu beachten, dass das Gehäuse eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen muss. Es darf daher durch die Zuführkanäle nicht zu sehr geschwächt werden. Da die einzelnen Zuführkanäle jedoch

kapillarförmig und damit sehr dünn ausgebildet sind, ergibt sich auch bei einer größeren Zahl von Zuführkanälen keine relevante Schwächung des Gehäuses.

Es wird auch eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass das Gehäuse einteilig ausgebildet ist. Der mindestens eine Zuführkanal ist als Bohrung vorzugsweise durch Bohren oder durch Erodieren in das einteilige Gehäuse eingebracht. Insbesondere dann, wenn mehr als ein Zuführkanal vorgesehen ist, weist das Gehäuse an einem äußeren Umfang bevorzugt eine sich in Umfangsrichtung erstreckende Verteilernut auf, über die der durch die Zuführeinrichtung herangeführte Anfettungsbrennstoff auf die verschiedenen Zuführkanäle verteilt wird. Diese münden in die Verteilernut. Auch wenn nur ein Zuführkanal vorgesehen ist, kann gleichwohl eine Verteilernut vorgesehen sein. Diese ermöglicht nämlich auch einen Ausgleich eines Winkelversatzes zwischen dem mindestens einen Zuführkanal und einem weiteren, von der Zuführ-Einrichtung umfassten Kanal, indem dieser – in Umfangsrichtung gesehen – an beliebiger Stelle in die Verteilernut münden kann, wobei der Anfettungsbrennstoff den mindestens einen Zuführkanal in jedem Fall über die Verteilernut erreicht. Auf eine passgenaue Ausrichtung des Zuführ-Kanals zu dem weiteren Kanal der Zuführ-Einrichtung kann dann verzichtet werden.

Alternativ wird eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, bei welcher das Gehäuse zwei Gehäuseteile umfasst. Dabei ist bevorzugt ein innerer Gehäuseteil konzentrisch in einem äußeren Gehäuseteil angeordnet, insbesondere so, dass sich zwischen dem inneren Gehäuseteil und dem äußeren Gehäuseteil ein Ringspalt ergibt. Der Zuführkanal umfasst bevorzugt bereichsweise den zwischen dem inneren und dem äußeren Gehäuseteil angeordneten Ringspalt. Diese Ausgestaltung ist deswegen besonders günstig, weil der Zuführkanal nicht vollständig durch Bohren oder Erodieren hergestellt werden muss, sondern sich vielmehr im Bereich des Ringspalts auf einfache Weise durch die Anordnung des inneren Gehäuseteils in dem äußeren Gehäuseteil ergibt. Dort ist eine äußere Umfangsfläche des inneren Gehäuseteils – in radialer Richtung gesehen – von einer inneren Umfangsfläche des äußeren Gehäuseteils beabstandet, sodass ein ringförmiges Volumen zwischen den Gehäuseteilen verbleibt, durch welches der Anfettungsbrennstoff strömen kann. Insbesondere in einem der Vorkammer zugewandten Bereich ist allerdings vorzugsweise mindestens ein gebohrter oder erodierter Abschnitt des Zuführkanals vorgesehen, der einerseits in die Vorkammer und andererseits in den Ringspalt mündet.

Der innere Gehäuseteil und der äußere Gehäuseteil sind bevorzugt mit Spielpassung zueinander gefertigt, sodass sich der Ringspalt ergibt. Bei der Tolerierung der Spielpassung muss eine Erwärmung im befeuerten Betrieb der Vorkammer-Zündkerze berücksichtigt werden, wobei der Ringspalt einerseits keine zu große Aufweitung und andererseits keine zu große Verengung erfahren darf, sodass er einerseits seine kapillarartige Eigenschaft behält und andererseits nicht verschlossen wird.

Der innere Gehäuseteil ist vorzugsweise auf ein Element der Zündeinrichtung aufgeschrumpft. Hierzu wird zunächst das entsprechende Element der Zündeinrichtung in den inneren Gehäuseteil eingesteckt. Bei einer Erwärmung beider Teile erfolgt aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten in einer Warmschrumpfzone eine Relativverlagerung der beiden Elemente, wobei sich beim anschließenden Abkühlen eine Verspannung ergibt, sodass das Element der Zündeinrichtung, insbesondere ein Halterungselement und/oder ein Isolator derselben, und der innere Gehäuseteil nicht mehr zerstörungsfrei voneinander getrennt werden können. Der innere Gehäuseteil und der äußere Gehäuseteil sind durch verschiedene Fügeverfahren miteinander verbindbar, beispielsweise durch Schrauben, Schweißen, Kleben, Löten, Schrumpfen oder in anderer geeigneter Weise.

Auch bei einer Vorkammer-Zündkerze mit einteiligem Gehäuse ist es möglich, dass das Gehäuse in einer Warmschrumpfzone auf ein Element der Zündeinrichtung aufgeschrumpft ist. Zur Herstellung der Vorkammer-Zündkerze ist es möglich, das Gehäuse bereits als Halbzeug mit den die Zuführkanäle bildenden Kapillaren zu versehen. Weiterhin ist es möglich, bei der Herstellung des Gehäuses in der Warmschrumpfzone eine Ventileinrichtung, insbesondere einen Aktuator und ein Sperrelement, anzuordnen.

Es wird auch ein Ausführungsbeispiel der Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, welches eine in das Gehäuse integrierte Ventileinrichtung aufweist, durch welche der mindestens eine Zuführkanal in einer ersten Funktionsstellung freigebbar und in einer zweiten Funktionsstellung sperrbar ist. Mithilfe der Ventileinrichtung ist es möglich, den Anfettungsbrennstoff zu vorherbestimmten Zeitpunkten präzise in die Vorkammer zu dosieren.

Alternativ ist es möglich, dass die Vorkammer-Zündkerze selbst keine Ventileinrichtung aufweist, wobei dann jedoch bevorzugt die Zuführ-Einrichtung – in Strömungsrichtung des Anfettungsbrennstoffs gesehen – stromaufwärts der Vorkammer-Zündkerze eine

Ventileinrichtung aufweist, durch welche eine Fluidverbindung zu der Vorkammer sperrbar und freigebbar ist. Nachteilig hierbei ist allerdings die räumliche Trennung zwischen der Dosiereinrichtung und der Vorkammer-Zündkerze. Hierdurch entsteht ein vergleichsweise großes Totvolumen, welches während eines Ladungswechsels mit reinem Anfettungsbrennstoff, insbesondere Brenngas, gefüllt ist. In der Kompressionsphase des Zylinders wird das in dem Totvolumen angeordnete Brenngas komprimiert, und es wird zusätzlich ein Brenngas/Luft-Gemisch eingebracht. Lediglich in einer räumlich begrenzten Grenzschicht findet eine Durchmischung dieses Gemischs mit dem Brenngas statt. Bei der Verbrennung ist es möglich, dass das Gemisch und Gasanteile in der Grenzschicht zumindest teilweise umgesetzt werden. Hierbei wird Ruß generiert. Zwar kann dieser durch den kleinen Strömungsquerschnitt des Zuführkanals – wie oben bereits beschrieben – ausgetrieben werden, gleichwohl ist es erstrebenswert, so wenig Ruß wie möglich zu generieren. Vorteilhaft ist es hierzu, das Totvolumen zwischen der Ventileinrichtung und der Mündung des Zuführkanals in die Vorkammer zu verringern. Eine Verkleinerung dieses Totvolumens hat außerdem den Vorteil, dass die in die Vorkammer einzubringende Menge an Anfettungsbrennstoff genauer dosiert und auch zeitlich präziser zugeführt werden kann.

Ist die Ventileinrichtung in das Gehäuse der Vorkammer-Zündkerze integriert, ergeben sich die hier beschriebenen Vorteile. Durch das dann sehr kleine Totvolumen zwischen der Ventileinrichtung und der Mündung des Zuführkanals in die Vorkammer lassen sich auch geringe Mengen des Anfettungsbrennstoffs präzise und zeitlich genau in die Vorkammer eindosieren. Zugleich wird eine Rußbildung in dem Zuführkanal nochmals deutlich reduziert.

Mithilfe der Ventileinrichtung ist es möglich, bei einem Gasmotor, der eine Mehrzahl von Zylindern und somit auch eine Mehrzahl von Vorkammer-Zündkerzen aufweist, eine den einzelnen Vorkammern zugeführte Menge an Anfettungsbrennstoff zylinderselektiv zu wählen, um beispielsweise Unterschiede in der Versorgung mit Anfettungsbrennstoff für die einzelnen Vorkammern oder zylinderindividuelle Leistungsunterschiede auszugleichen. Weiterhin ist es möglich, die Eindosierung von Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer abhängig von einem Betriebspunkt des Gasmotors zu gestalten. Die eindosierte Menge an Anfettungsbrennstoff kann auch abhängig von anderen Parametern, insbesondere von Parametern des Gasmotors, variiert werden.

Die Ventileinrichtung weist vorzugsweise einen Aktuator und ein durch den Aktuator betätigbares Sperrglied auf. Das Sperrglied ist bevorzugt in einer Richtung betätigbar, die senkrecht auf einer Wirkrichtung von Gaskräften beziehungsweise Druckkräften steht, welche durch den Anfettungsbrennstoff auf das Sperrglied wirken. Anders als aus dem Stand der Technik bekannt, wird eine Hubbewegung des Sperrglieds also nicht in Wirkrichtung dieser Druckkräfte, sondern senkrecht dazu bewirkt. Der Aktuator muss somit nicht gegen die Druckkräfte anarbeiten, wodurch er nur eine sehr geringe Kraft aufbringen muss und sehr klein ausgebildet sein kann.

Es wird auch eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass der Aktuator ringförmig ausgebildet ist. Bevorzugt ist er in einem Ringraum zwischen dem Gehäuse und der radial innerhalb des Gehäuses angeordneten Zündeinrichtung, besonders bevorzugt in einer Warmschrumpfzone, angeordnet. Auf diese Weise ist es sehr bauraumsparend möglich, den Aktuator in die Vorkammer-Zündkerze zu integrieren.

Alternativ oder zusätzlich ist vorzugsweise das Sperrglied ringförmig ausgebildet, wobei es bevorzugt in dem Ringraum zwischen dem Gehäuse und der radial innerhalb des Gehäuses angeordneten Zündeinrichtung, vorzugsweise in der Warmschrumpfzone, angeordnet ist. Dabei wirkt das Sperrglied bevorzugt mit einer Mehrzahl – in Umfangsrichtung gesehen – in dem Gehäuse angeordneter Zuführkanäle zusammen, wobei es diese durch eine Hubbewegung senkrecht zu der Erstreckung eines Kanalabschnitts, mit welchem das Stellglied zusammenwirkt, öffnen und sperren kann. Dadurch, dass das Sperrglied bei seinem Hub eine Mehrzahl von Zuführkanälen freigibt und sperrt, ergibt sich insgesamt ein hinreichender Förderquerschnitt, sodass ein kleiner Hubweg trotz der im Vergleich zu einem flüssigen Brennstoff geringen Energie- und Volumendichte des gasförmigen Anfettungsbrennstoffs ausreicht, um über den sich insgesamt ergebenden Förderquerschnitt eine ausreichende Anfettungsbrennstoffmenge in die Vorkammer zu dosieren. Somit bedarf es für die Ventileinrichtung weder einer Kraft- noch einer Hubverstärkung, und es kann ein kleiner Aktuator genutzt werden, welcher vergleichsweise geringe Kräfte über einen kleinen Hubweg erzeugt. Dies ermöglicht eine bauraumsparende, voll integrierte Bauweise der Vorkammer-Zündkerze beziehungsweise der Ventileinrichtung in der Vorkammer-Zündkerze.

Der kleine Hubweg des Sperrglieds und des Aktuators hat auch den Vorteil, dass eine besonders genaue und feine Dosierung des Anfettungsbrennstoffs möglich ist.

In diesem Zusammenhang wird bevorzugt, dass der Aktuator als Piezoelement ausgebildet ist. Dabei ist es aufgrund der nur geringen, für den Hub des Stellglieds erforderlichen Kraft möglich, ein einfaches Piezoelement ohne Kraftverstärkung und ohne Hubverstärkung zu verwenden. Die Ventileinrichtung ist dadurch einfach, kostengünstig und äußerst bauraumsparend ausgebildet.

Es wird auch eine Vorkammer-Zündkerze bevorzugt, die sich dadurch auszeichnet, dass die Zündeinrichtung eine – sich in Längsrichtung erstreckende – Mittelelektrode und mindestens eine radial von der Mittelelektrode beabstandete Massenelektrode umfasst. Zwischen der mindestens einen Massenelektrode und der Mittelelektrode ist ein Zündspalt ausgebildet. Vorzugsweise umgreift die mindestens eine Massenelektrode – in Umfangsrichtung gesehen – die Mittelelektrode. Es wird ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei welchem die Mittelelektrode im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet ist. Weiterhin wird ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei welchem die Massenelektrode als Ring ausgebildet ist, welcher die Mittelektrode entlang von deren Umfang mit einem radialen Abstand umgreift, sodass der Zündspalt im Bereich des radialen Abstands ausgebildet ist. Alternativ ist es möglich, dass die Massenelektrode mehrere – in Umfangsrichtung gesehen – vorzugsweise symmetrisch um die Mittelelektrode herum angeordnete Elektrodensegmente umfasst, die ebenfalls mit einem radialen Abstand zu der Mittelelktrode vorgesehen sind, sodass sich auch hier der Zündspalt in dem radialen Abstand zwischen den Elektrodensegmenten der Massenelektrode und der Mittelelektrode ergibt. Die Vorkammer-Zündkerze ist demnach bevorzugt als elektrische Zündkerze mit zentraler Funkenlage ausgebildet, wobei der Zündbereich in dem Zündspalt angeordnet ist. Die Mittelelektrode ist vorzugsweise in Längsrichtung oberhalb der Massenelektrode – in Umfangsrichtung gesehen – von einem Isolatorfuß umgriffen. Entsprechend ist hier vorzugsweise das erste Ende des mindestens einen Zuführkanals auf den Zündspalt oder auf den Isolatorfuß hin ausgerichtet.

Es ist auch ein Ausführungsbeispiel der Vorkammer-Zündkerze möglich, bei welchem eine wandnahe Zündlage realisiert wird. Insbesondere ist ein Ausführungsbeispiel möglich, das als elektrische Zündkerze mit wandnaher Funkenlage ausgebildet ist.

Auch andere Ausgestaltungen der Vorkammer-Zündkerze sind möglich. Beispielsweise wird auch ein Ausführungsbeispiel bevorzugt, bei welchem die Vorkammer-Zündkerze als Laserzündkerze ausgebildet ist.

Insgesamt zeigt sich, dass der mindestens eine, in das Gehäuse integrierte Zuführkanal nicht zuletzt auch Teil eines Kühlkonzepts für die Vorkammer-Zündkerze ist. Üblicherweise erfolgt eine Wärmeabfuhr im Bereich einer Vorkammer-Zündkerze ausschließlich über den thermischen Kontakt des Gehäuses mit der Wandung der Hülse und/oder des Zylinderkopfs. Bei der hier vorgeschlagenen Vorkammer-Zündkerze weist der in dem Zuführkanal angeordnete Anfettungsbrennstoff stets eine Temperatur auf, die kleiner ist, als die Temperatur in der Vorkammer, insbesondere als die Temperatur an der Oberfläche des Isolatorfußes. Hierdurch trägt der vergleichsweise kühle Anfettungsbrennstoff schon in dem Zuführkanal zur Kühlung der Vorkammer-Zündkerze bei, wobei die Temperatur derselben dauerhaft im Betrieb um ungefähr 50 K abgesenkt werden kann. Durch geschickte Ausrichtung des Zuführkanals, insbesondere von dessen ersten Ende, ist es möglich, den Zündbereich und/oder die Elektroden durch den frisch zugeführten Anfettungsbrennstoff zu kühlen. Diese Vorgehensweise ist besonders erfolgversprechend, wenn zugleich eine zentrale Zündlage in der Vorkammer realisiert wird. Weiterhin ist es möglich, durch geeignete Eindüsung des Anfettungsbrennstoffs in die Vorkammer eine Gemischqualität im Bereich von Oberflächen der Vorkammer, insbesondere von Oberflächen der Elektroden und/oder des Isolatorfußes, zu reduzieren, sodass sich dort ein geringerer Umsatz bei der Verbrennung und somit ein geringerer Wärmeeintrag in die Oberflächen ergibt. Auf diese Weise kann bereits eine Aufheizung der Vorkammer-Zündkerze im Betrieb reduziert werden.

Bei dem herkömmlichen Kühlkonzept führt die Vorkammer beziehungsweise Vorkammer-Zündkerze bedarf es eines relativ großen Bauraums, um eine ausreichende Wärmeabfuhr über den thermischen Kontakt mit dem Zylinderkopf zu gewährleisten. Das zusätzliche Kühlkonzept, welches sich hier durch den mindestens einen, in das Gehäuse integrierten, kapillarförmigen Zuführkanal ergibt, ermöglicht durch die hinzukommende Kühlleistung eine bauraumsparende Ausgestaltung der Vorkammer-Zündkerze, ohne dass deswegen eine überhöhte Temperatur zu befürchten ist.

Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem ein Gasmotor mit den Merkmalen des Anspruchs 11 geschaffen wird. Der Gasmotor, der als Hubkolbenmaschine ausgebildet ist, weist mindestens einen Zylinder auf, der einen Hauptbrennraum umfasst. In dem Zylinder ist ein Kolben oszillierbar aufgenommen. Weiterhin weist der Gasmotor einen Zylinderkopf auf, durch den der Hauptbrennraum – in Längsrichtung des Zylinders gesehen – auf einer dem Kolben

gegenüberliegenden Seite abgeschlossen ist. Der Gasmotor zeichnet sich dadurch aus, dass in dem Zylinderkopf eine Vorkammer-Zündkerze nach einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele derart angeordnet ist, dass die Vorkammer über den mindestens einen Schusskanal mit dem Hauptbrennraum in Fluidverbindung steht. Auf diese Weise ist es möglich, ein auch stark abgemagertes Gemisch in dem Hauptbrennraum durch die in der Vorkammer erhöhte Zündenergie über den mindestens einen Schusskanal sicher zu entflammen. Weiterhin ergeben sich die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit der Vorkammer-Zündkerze erläutert wurden.

Bevorzugt weist der Gasmotor eine Zylinderbohrung mit einem Durchmesser von mindestens 130 mm bis höchstens 200 mm, vorzugsweise von mindestens 140 mm bis höchstens 190 mm, vorzugsweise von mindestens 150 mm bis höchstens 180 mm, besonders bevorzugt von 170 mm auf. Gerade bei Gasmotoren dieser Größe verwirklichen sich in besonderer Weise die Vorteile der Vorkammer-Zündkerze, welche sowohl sehr kompakt ist als auch eine im Vergleich zu einer ungespülten Vorkammer-Zündkerze deutlich verbesserte Erhöhung der Zündenergie ermöglicht.

Es wird ein Gasmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass in dem Zylinderkopf eine Hülse, insbesondere eine Wasserhülse angeordnet ist, in der die Vorkammer-Zündkerze aufgenommen ist. Die Hülse dient als Wasserhülse insbesondere der isolierten, trockenen Anordnung der Vorkammer-Zündkerze in einem von Kühlwasser durchspülten Volumen des Zylinderkopfs. Bevorzugt weist die Hülse mindestens einen Kanalabschnitt als Teil der Zuführ-Einrichtung für den Anfettungsbrennstoff in den mindestens einen Zuführkanal der Vorkammer-Zündkerze auf. Der Anfettungsbrennstoff wird demnach dem Zuführkanal bevorzugt über die Hülse zugeführt. Da wesentliche Teile der Zufuhr für den Anfettungsbrennstoff einerseits in die Vorkammer-Zündkerze selbst und andererseits in die Hülse integriert sind, ist der Zylinderkopf nur minimal durch zusätzliche Bohrungen geschwächt. Insbesondere bedarf es keiner Bohrung im Bereich eines Brenndecks des Zylinderkopfs, um den Anfettungsbrennstoff zuzuführen, sodass dieses sehr stabil und dauerlastfest ausgebildet sein kann.

Es wird auch ein Gasmotor bevorzugt, der sich dadurch auszeichnet, dass der Zylinderkopf einen Kühlbereich aufweist, indem die Wasserhülse angeordnet ist. Diese weist eine Kühlbohrung auf, durch welche eine äußere Umfangsfläche des Gehäuses der Vorkammer-Zündkerze mit dem Kühlbereich in Fluidverbindung ist. Die Kühlbohrung ergänzt das zuvor beschriebene Kühlkonzept der Vorkammer-Zündkerze, indem in einen äußeren Bereich des Gehäuses

Kühlwasser geführt werden kann. Hierdurch ist eine nochmals kleinere Ausbildung der Vorkammer-Zündkerze möglich, weil diese zusätzlich noch aktiv über das durch die Wasserhülse zugeführte Kühlwasser gekühlt wird.

Schließlich wird ein Gasmotor bevorzugt, der sich durch eine Steuerungseinrichtung auszeichnet, mit welcher der Aktuator der Vorkammer-Zündkerze insbesondere gepulst ansteuerbar ist. Es ist dann möglich, den Anfettungsbrennstoff nicht nur auf einmal, sondern insbesondere im Sinne einer zeitlich getakteten, mehrfachen Dosierung in die Vorkammer einzubringen. Dabei ist diese multiple Dosierung durch die entsprechend ausgebildete Steuerungseinrichtung bevorzugt so steuerbar, dass sie phasenrichtig relativ zu einer Gasströmung in der Vorkammer derart erfolgt, dass sich eine räumlich-geometrisch günstige Verteilung des Anfettungsbrennstoffs in der Vorkammer ergibt. Insbesondere während des Kompressionshubs des Kolbens ergeben sich in der Vorkammer zeitlich variierende Drall- und Tumbleströmungen. Die zeitliche Variation dieser Strömungen kann vorteilhaft durch eine geeignete Ansteuerung des Aktuators derart genutzt werden, dass der in mehreren Eindüsereignissen zugeführte Anfettungsbrennstoff optimal verteilt wird. Auf diese Weise ist es möglich, den Anfettungsbrennstoff gezielt dorthin zu bringen, wo er seine maximale Wirkung entfaltet. Dies wiederum führt dazu, dass die Gesamtmenge an eingebrachtem Anfettungsbrennstoff reduziert werden kann, weil nicht durch Überdosierung sichergestellt werden muss, dass in den relevanten Bereichen genügend Anfettungsbrennstoff vorhanden ist. Dies führt insgesamt zu einer Brennstoffeinsparung. Zwar ist auch auf dieser Weise eine vollständige Homogenisierung des Gemischs in der Vorkammer nicht darstellbar. Allerdings ist dies auch nicht zwingend erforderlich. Vielmehr wird durch das über die multiple Zufuhr von Anfettungsbrennstoff aktiv initialisierte oder zumindest beeinflusste Mischungs- und Spülverhalten der Vorkammer ein Abstand zwischen lokal geringen und besseren Gemischqualitäten reduziert, beziehungsweise es werden örtlich geringere Gemischqualitäten durch Anfettung in bessere überführt. Dabei ist es insbesondere möglich, um eine zentrale Zünd- oder Funkenlage herum symmetrisch Gemischqualitäten zu generieren, insbesondere zu schichten, die einen schnellen und gleichmäßigen Durchbrand in Richtung aller in der Wandung vorhandenen Schusskanäle ermöglicht. Dies wiederum kann genutzt werden, um – wie bereits angedeutet – den zentralen Schusskanal oder Mittelkanal zu drosseln, sodass dieser weder die Ladungsbewegung in der Vorkammer noch das Ausbringen der Zündfackeln in den Hauptbrennraum dominiert. Vielmehr werden die radialen oder tangentialen Bohrungen funktional gestärkt, wodurch zum einen die Ladungsbewegung in der Vorkammer

vergleichmäßigt wird, und wodurch zum anderen eine besonders symmetrische, einen homogenen Durchbrand gewährleistende Ausbringung der Zündfackeln in den Hauptbrennraum ermöglicht wird.

In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, wenn die verschiedenen Schusskanäle der Vorkammer-Zündkerze auf die geometrischen Bedingungen sowie einen gewünschten Verbrennungsverlauf in dem Hauptbrennraum abgestimmt und positionsrichtig relativ zu diesem angeordnet sind. Hierzu weist die Vorkammer-Zündkerze vorzugsweise mindestens ein Ausrichtungsmittel, beispielsweise einen Vorsprung oder eine Ausnehmung auf, um eine positonsgenaue Anordnung relativ zu dem Hauptbrennraum sicherzustellen.

Insgesamt ist es möglich, die Restgasverteilung in der Vorkammer durch eine geeignete Abstimmung von Konstruktionsparametern derselben zu optimieren. Solche Konstruktionsparameter umfassen das Vorkammer-Volumen, die Verteilung des Vorkammer-Volumens insbesondere in einen Volumenteil oberhalb der Zündlage sowie einen Volumenteil unterhalb der Zündlage, eine konstruktive Gestaltung des Isolatorfußes, eine geeignete geometrische Gestaltung zur Ausbildung definierter Drall- und/oder Tumbleverhältnisse, sowie eine geeignete konstruktive Gestaltung einer Innenkontur der Vorkammer.

Der Gasmotor, in dem die Vorkammer-Zündkerze eingesetzt wird, dient bevorzugt dem Antrieb eines Land-, Wasser- oder Luftfahrzeugs, wobei insbesondere schwere Landmaschinen, Fahrzeuge im Tagebau oder Züge infrage kommen. So kann er beispielsweise in einem Triebwagen oder einer Lokomotive eingesetzt werden. Auch ein Einsatz in einem Schiff ist möglich. Weiterhin ist es möglich, dass der Gasmotor für stationäre Anwendungen, beispielsweise zum Antreiben eines Generators für einen Notstrombetrieb, einen Dauerlastbetrieb oder einen Spitzenlastbetrieb vorgesehen ist. Insbesondere ist es möglich, den Gasmotor in einem Blockheizkraftwerk einzusetzen. Weiterhin ist es möglich, dass der Gasmotor in einer stationären Umgebung zum Antrieb von Hilfs- und/oder Nebenaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf einer Bohrinsel, eingesetzt wird.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorkammer-Zündkerze;

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorkammer-Zündkerze;

Figur 3 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer Vorkammer-Zündkerze, und

Figur 4 eine Detaildarstellung des dritten Ausführungsbeispiels gemäß Figur 3.

**Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorkammer-Zündkerze 1. Diese weist ein Gehäuse 3 mit einer Wandung 5 auf, die von einem zentralen Schusskanal 7, der auch als Mittelbohrung bezeichnet wird, sowie von radialen oder tangentialen Schusskanälen 9 durchsetzt ist. Die Wandung 5 umschließt eine Vorkammer 11, die in an sich bekannter Weise der Erhöhung der Zündenergie, insbesondere für den Betrieb eines Magergasmotors, mithin der sicheren Entflammung eines sehr mageren Brennstoff-Luft-Gemischs in einem nicht dargestellten Hauptbrennraum eines Gasmotors dient.

Die Vorkammer-Zündkerze 1 weist eine Zündeinrichtung 13 auf, die hier eine Mittelelektrode 15 und eine diese – in Umfangsrichtung gesehen – umgreifende Massenelektrode 17 umfasst. Zwischen der Mittelelektrode 15 und der Massenelektrode 17 ist – in radialer Richtung gesehen – ein Zündbereich 18 beziehungsweise Zündspalt 19 ausgebildet.

Die Massenelektrode liegt vorzugsweise über das Gehäuse 3 auf Massepotential, während an die Mittelelektrode 15 über einen elektrischen Anschluss 21 zu einem vorherbestimmten Zündzeitpunkt eine Hochspannung angelegt wird. Es kommt dann in dem Zündspalt 19 zu einem Überschlag zwischen der Mittelelektrode 15 und der Massenelektrode 17, sodass hier ein Zündfunke ausgebildet wird, durch den ein in dem Zündspalt 19 vorhandenes, brennbares Gemisch gezündet wird.

Das Gehäuse 3 ist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel durch insgesamt vier kapillarförmige Zuführkanäle 23 durchsetzt, wobei in der schematisch dargestellten Schnittebene von Figur 1 zwei Zuführkanäle 23 dargestellt sind. Insgesamt sind die vier Zuführkanäle 23 bevorzugt symmetrisch entlang eines Umfangs der Vorkammer-Zündkerze 1 verteilt, wobei sie jeweils paarweise einen Winkelabstand von 90° zueinander aufweisen. Entsprechend ist ein

dritter Zuführkanal hier auf einer dem Betrachter zugewandten Seite vor der Bildebene von Figur 1 angeordnet, während ein vierter Zuführkanal auf einer dem Betrachter abgewandten Seite hinter der Bildebene von Figur 1 angeordnet ist.

Die Zuführkanäle münden im Bereich eines ersten Endes 25, von denen der besseren Übersichtlichkeit hier nur eines mit dem Bezugszeichen 25 bezeichnet ist, in die Vorkammer 11. An einem zweiten Ende 27 münden die Zuführkanäle 23 in eine Zuführ-Einrichtung für einen Anfettungsbrennstoff, welche hier eine in das Gehäuse 3 eingebrachte, sich in Umfangsrichtung erstreckende Verteilernut 29 aufweist. Alle vier Zuführkanäle 23 münden somit mit ihrem zweiten Ende 27 in die Verteilernut 29, die sich bevorzugt entlang des gesamten Umfangs des Gehäuses 3 erstreckt. Somit können alle Zuführkanäle 23 über die eine Verteilernut 29 mit Anfettungsbrennstoff, insbesondere mit Brenngas, versorgt werden. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist hier nur eines der zweiten Enden mit dem Bezugszeichen 27 gekennzeichnet.

Die Zuführkanäle 23 sind kapillarförmig, mithin im Verhältnis zu ihrer Länge sehr dünn, also mit sehr kleinem Durchmesser ausgebildet. Dabei beträgt das Verhältnis des Durchmessers zu der Länge der Kanäle bevorzugt ungefähr 2 %.

Es zeigt sich auch, dass sich die Zuführkanäle 23 im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze erstrecken, mithin im Wesentlichen entlang einer in Figur 1 vertikalen Richtung. Dem steht nicht entgegen, dass Kanalabschnitte ausgebildet sind, welche sich bereichsweise im Wesentlichen in radialer Richtung beziehungsweise schräg in dem Gehäuse 3 erstrecken. Die wesentliche Grundausrichtung der Zuführkanäle 23 und die Strömungsrichtung des Anfettungsbrennstoffs von der Verteilernut 29 in die Vorkammer 3 verläuft gleichwohl in Figur 1 vertikal, mithin in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze.

Die Zuführkanäle 23 sind in dem Gehäuse 3, welches bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel einteilig ausgebildet ist, vorzugsweise durch Bohren oder besonders bevorzugt durch Erodieren hergestellt. Dabei ist es insbesondere durch Erodieren ohne Weiteres möglich, Zuführkanäle 23 auszubilden, die einen Durchmesser von weniger als 1 mm, vorzugsweise von 0,4 mm, auf eine Länge von bis zu 50 mm aufweisen.

Aus fertigungstechnischen Gründen sind die Zuführkanäle 23 hier abschnittsweise gebohrt oder erodiert, wobei teilweise Durchgangsbohrungen erstellt wurden, welche von einer äußeren Umfangsfläche 31 beziehungsweise von der Vorkammer 11 her in das Gehäuse 3 eingebracht wurden. Diese Durchgangsbohrungen sind an den Enden, an welchen bestimmungsgemäß beim Gebrauch der Vorkammer-Zündkerze 1 kein Anfettungsbrennstoff austreten soll, durch Stopfen 33 verschlossen.

Es zeigt sich, dass die Zuführkanäle 23 im Bereich des ersten Endes 25 bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel so ausgerichtet sind, dass der in die Vorkammer 11 eingeblasene Anfettungsbrennstoff auf einen Isolatorfuß 35 gerichtet ist, der die Mittelelektrode 15 umgreift. Dies trägt insbesondere zur Kühlung einer Oberfläche, insbesondere einer Umfangsfläche des Isolatorfußes 35 bei. Zugleich ergibt sich aufgrund der Ausrichtung der Zuführkanäle 23 im Bereich des ersten Endes 25 vorzugsweise eine im Gesamtkontext der dynamischen Strömungsverhältnisse innerhalb der Vorkammer 11 eine geeignete Strömung, wobei durch Einbringen von Anfettungsbrennstoff ein geeigneter, insbesondere geschichteter Verlauf von Gemischqualitäten in der Vorkammer 11 erzeugt werden kann, um mit einer möglichst geringen Menge an Anfettungsbrennstoff die Zündenergie zu maximieren sowie einen raschen und vollständigen Durchbrand zu den Schusskanälen 7, 9 sicherzustellen. Durch die aus den Schusskanälen 7, 9 austretenden Zündfackeln kann dann ein in dem nicht dargestellten Hauptbrennraum vorliegendes, mageres Gemisch sicher und möglichst homogen entflammt werden.

Insbesondere wird in Hinblick auf die Einbringung des Anfettungsbrennstoffs einerseits und die Gasströmung in der Vorkammer 11 andererseits bevorzugt eine Gemischqualität in dem Zündspalt 19 angehoben, sodass sich dort eine sichere Entflammung ergibt. Insbesondere wird eine für die Verbrennung optimale Schichtung der Gemischqualitäten um die hier zentrale Funkenlage verwirklicht.

Die Vorkammer-Zündkerze weist an dem Gehäuse 3 ein Außengewinde 37 auf, mit welchem sie in eine in Figur 1 nicht dargestellte Hülse einschraubbar ist. Hierzu weist die Hülse ein entsprechendes Innengewinde auf. Anhand von Figur 1 ist offensichtlich, dass die Vorkammer-Zündkerze 1 aufgrund ihrer voll integrierten Bauweise mit den kapillarförmigen Zuführkanälen 23, die sich im Wesentlichen in Längsrichtung erstrecken, insbesondere in radialer Richtung gesehen sehr kompakt ausgebildet sein kann. Sie kann daher bauraumsparend auch bei mittleren

und kleineren Gasmotoren eingesetzt werden, beziehungsweise es ist gegebenenfalls möglich, einen Zylinderkopf, in dem die Vorkammer-Zündkerze 1 verwendet wird, kleiner und kompakter auszubilden, als einen herkömmlichen Zylinderkopf, in welchem eine bekannte Vorkammer-Zündkerze eingesetzt wird. Dabei haben die in das Gehäuse 3 integrierten, kapillarförmigen Zuführkanäle 23 den Vorteil, dass eine Statik des Zylinderkopfs und ganz besonders eines Brenndecks desselben nicht durch zusätzliche Kanäle beeinträchtigt wird, die andernfalls zur Zuführung von Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer 11 vorgesehen sein müssten.

Die Zuführkanäle 23 dienen zugleich einem Kühlkonzept der Vorkammer-Zündkerze 1. Hierbei wirkt der in den Zuführkanälen 23 vorhandene Anfettungsbrennstoff, welcher stets eine niedrigere Temperatur als die Vorkammer 11 aufweist, kühlend, wobei allein durch diesen Effekt die Temperatur der Vorkammer-Zündkerze 1 um bis zu 50 K gesenkt werden kann. Hinzu kommt, dass der Zündbereich 18, insbesondere der Isolatorfuß 35, und/oder die Oberflächen der Elektroden 15, 17, durch den eingebrachten Anfettungsbrennstoff gekühlt werden. Dies ist in besonderer Weise bei zentraler Zünd- beziehungsweise Funkenlage möglich, welche bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 verwirklicht ist. Ein weiterer Beitrag zu dem Kühlkonzept besteht darin, dass die Einbringung des Anfettungsbrennstoffs derart gesteuert werden kann, dass sich im Bereich von Oberflächen, insbesondere im Bereich des Isolatorfußes 35, eine vergleichsweise niedrige Gemischqualität ergibt, sodass hier eine verringerte Umsetzung und damit auch ein geringerer Wärmeeintrag in die Oberflächen stattfindet. Diese werden dadurch weniger stark aufgeheizt als bei einer herkömmlichen Vorkammer-Zündkerze.

Durch diese kombinierten Maßnahmen zur Vermeidung eines überhöhten Wärmeeintrags und zur Kühlung der Vorkammer-Zündkerze 1 ist es möglich, einen thermischen Kontakt der Vorkammer-Zündkerze 1 zu dem Zylinderkopf zu verringern und somit weiterhin Bauraum einzusparen.

Die Zündeinrichtung 13 umfasst bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ein Halterungselement 39, welches zugleich als Isolationselement ausgebildet und daher aus einem isolierenden Material gefertigt ist. Das Halterungselement 39 nimmt in einer zentralen Bohrung 41 die Mittelelektrode 15 auf. Das Gehäuse 3 ist in einem Befestigungsbereich 43 an dem Halterungselement 39 befestigt. Die Massenelektrode 17 ist bevorzugt wiederum an dem Gehäuse 3 angeordnet und über dieses geerdet. Hierzu bedarf es bevorzugt keines separaten Kabels. Vielmehr ist das Gehäuse 3 und mithin auch zugleich die Massenelektrode 17

vorzugsweise über das Außengewinde 37 und das entsprechende Innengewinde der Hülse geerdet, die ihrerseits wiederum über den Zylinderkopf geerdet ist.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorkammer-Zündkerze 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Im Folgenden wird im Wesentlichen auf die Unterschiede zwischen dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 und dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 eingegangen. Im Übrigen wird auf die vorangehende Beschreibung verwiesen. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist in Figur 2 die Mittelelektrode 15 nicht dargestellt.

Die Vorkammer-Zündkerze 1 ist hier in eine Hülse 44, nämlich eine Wasserhülse 45 eingeschraubt, wobei das Außengewinde 37 mit einem Innengewinde 47 der Wasserhülse 45 kämmt. Zugleich ist die Wasserhülse 45 in einen Zylinderkopf 49 eines Gasmotors 51 eingesetzt, wobei sie ein Außengewinde 53 aufweist, das mit einem Innengewinde 55 des Zylinderkopfs 49 kämmt. Dabei ist das Innengewinde 55 hier in einem Brenndeck 57 des Zylinderkopfs angeordnet, wobei das Brenndeck 57 einen in einem Zylinder 59 angeordneten Hauptbrennraum 61 auf einer Seite, die einem hier nur schematisch dargestellten, in dem Zylinder 59 oszillierbaren Kolben 63 – in Längsrichtung des Zylinders 59 gesehen – gegenüberliegt, verschließt. Dabei steht die Vorkammer 11 über die Schusskanäle 7, 9 mit dem Hauptbrennraum 61 in Fluidverbindung.

Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ist bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 das Gehäuse 3 zweiteilig ausgebildet, wobei es einen inneren Gehäuseteil 65 umfasst, der in einem äußeren Gehäuseteil 67 konzentrisch angeordnet ist.

Zwischen dem inneren Gehäuseteil 65 und dem äußeren Gehäuseteil 67, die mit Spielpassung ineinander angeordnet sind, ergibt sich ein Ringspalt 69, mithin ein radialer Abstand zwischen den beiden Gehäuseteilen 65, 67, der Teil der Zuführkanäle 23 ist. Es ist daher hier lediglich erforderlich, die Kanalabschnitte der Zuführkanäle 23 im Bereich der ersten Enden 25 zu bohren oder zu erodieren, während sich ein erheblicher Teil der Zuführkanäle 23 – in Längsrichtung gesehen – durch den Ringspalt 69 in wenig aufwendiger und kostengünstiger Weise ergibt.

Das Halterungselement 39 wird vorzugsweise insbesondere im Bereich einer Warmschrumpfzone 71 in den inneren Gehäuseteil 65 eingeschrumpft. Der innere Gehäuseteil 65 und der äußere Gehäuseteil 67 können durch verschiedene Fügeverfahren, beispielsweise durch Schrauben, Schweißen, Löten, Kleben, Schrumpfen oder in anderer geeigneter Weise miteinander verbunden werden. Durch das Warmschrumpfen ergibt sich eine gasdichte Verbindung zwischen dem Halterungselement 39 und dem inneren Gehäuseteil 65.

Auch bei dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ist es möglich, dass das Gehäuse 3 in einer Warmschrumpfzone 71 auf die Zündeinrichtung 13, insbesondere auf das Halterungselement 39, aufgeschrumpft wird.

Die Anordnung aus der Wasserhülse 45 und der Vorkammer-Zündkerze 1 ist in einem Kühlbereich 73 des Zylinderkopfs 49 angeordnet, der von Kühlwasser durchströmt ist. Dabei wird die Vorkammer-Zündkerze 1 durch die Wasserhülse 45 in an sich bekannter Weise von dem Kühlwasser räumlich getrennt und so vor Wasserschäden und insbesondere vor kühlwasserbedingten Kurzschlüssen geschützt.

In der Wasserhülse 45 ist hier ein Kanalabschnitt 75 angeordnet, der Teil einer Zuführ-Einrichtung 77 für den Anfettungsbrennstoff ist. Von dem Kanal 75 wird der Anfettungsbrennstoff an die Zuführkanäle 23, besonders bevorzugt an die Verteilernut 29 übergeben. Der Zylinderkopf 49 weist einen Zuströmkanal 79 für den Anfettungsbrennstoff auf, der seinerseits in einer Hülsen-Verteilernut 81 mündet, welche in der Wasserhülse 45 vorgesehen ist. Dabei mündet auch der Kanalabschnitt 75 in die Hülsen-Verteilernut 81, sodass der Anfettungsbrennstoff über den Zuströmkanal 79, die Hülsen-Verteilernut 81, den Kanalabschnitt 75, die Verteilernut 29 und die Zuführkanäle 23 in die Vorkammer 11 gelangen kann.

Vorzugsweise ist stromaufwärts des Zuströmkanals 79, oder stromaufwärts des in Figur 2 dargestellten Abschnitts des Zuströmkanals 79 in demselben, eine Ventileinrichtung angeordnet, durch welche der Fluidpfad für den Anfettungsbrennstoff zu der Vorkammer 11 in einer ersten Funktionsstellung gesperrt und in einer zweiten Funktionsstellung der Ventileinrichtung freigegeben werden kann. Mithilfe der Ventileinrichtung ist es dann möglich, den Anfettungsbrennstoff gezielt zu dosieren und zeitgesteuert in die Vorkammer 11 zu leiten. Dabei entsteht jedoch ein relativ großes Totvolumen zwischen der in Figur 2 nicht dargestellten

Ventileinrichtung und der Vorkammer 11 im Bereich des Zuströmkanals 79, des Kanalabschnitts 75 und der Zuführkanäle 23.

Die in Figur 2 dargestellte Wasserhülse 45 weist eine Kühlbohrung 83 auf, durch welche die äußere Umfangsfläche 31 des Gehäuses 3 mit dem Kühlbereich 73 in Fluidverbindung ist. Hierdurch kann zusätzlich zu den bereits erwähnten Kühlmechanismen die Vorkammer-Zündkerze 1 aktiv mit dem Kühlmedium, insbesondere dem Kühlwasser in dem Kühlbereich 73 des Zylinderkopfs 49 gekühlt werden. Dies trägt – wie auch bereits die anderen Kühlmechanismen – dazu bei, dass die Vorkammer-Zündkerze 1 insgesamt kleiner gebaut und somit bauraumsparend ausgestaltet sein kann.

Anhand der Figuren 1 und 2 zeigt sich noch Folgendes: Die gesamte Zuleitung für den Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer 11 weist ihren kleinsten Durchmesser in dem Bereich der Zuführkanäle 23, insbesondere im Bereich von deren ersten Enden 25 auf, also dort, wo der Anfettungsbrennstoff in die Vorkammern eintritt. Weiterhin ist es wichtig, dass dieser dünnste Leitungsabschnitt, mithin insbesondere die Zuführkanäle 23, eine nicht zu geringe Länge aufweisen, wobei die Länge vorzugsweise mindestens einem Durchmesser der Vorkammer entspricht, wobei sie bevorzugt größer ist als der Vorkammerdurchmesser. Hierdurch wird die Kapillarform der Kanäle sichergestellt, wodurch die genannten Vorteile verwirklicht werden. Durch eine geschickte Verschaltung beziehungsweise Wahl der verschiedenen Volumina und Leitungsquerschnitte im Bereich der Zuführung des Anfettungsbrennstoffs in die Vorkammer 11 ist eine mechanische und vorzugsweise auch eine thermische Entlastung der Ventileinrichtung möglich, die zur Dosierung des Anfettungsbrennstoffs vorgesehen ist.

Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt ein Verhältnis der Länge der Zuführkanäle 23 zu dem Durchmesser der Vorkammer von mindestens 100 % bis höchstens 150 %, vorzugsweise 130 %.

**Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels der Vorkammer-Zündkerze 1. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird. Auch in Zusammenhang mit Figur 3 wird im Wesentlichen auf die Unterschiede zu den vorangegangenen Ausführungsbeispielen eingegangen. Weiterhin ist auch in Figur 3 der besseren Übersichtlichkeit wegen die Mittelelektrode 15 nicht dargestellt.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 verlaufen die Zuführkanäle 23 weitestgehend vertikal, mithin in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze 1, wobei sie auch im Bereich des ersten Endes 25 vertikal in die Vorkammer 11 einmünden. Sie umfassen hierbei zwei Kanalabschnitte, nämlich einen von der Verteilernut 29 sich in radialer Richtung – in Figur 3 demnach horizontal – erstreckenden, ersten Teilabschnitt 85, der in einen vertikal verlaufenden und im Bereich des ersten Endes 25 in die Vorkammer 11 einmündenden, zweiten Teilabschnitt 87 mündet. Der besseren Übersichtlichkeit wegen ist hier jeweils nur einer der Teilabschnitte 85, 87 mit dem jeweiligen Bezugszeichen gekennzeichnet. Insgesamt umfasst auch das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 bevorzugt vier Zuführkanäle 23, wobei jeder dieser Zuführkanäle 23 jeweils einen ersten und einen zweiten Teilabschnitt 85, 87 aufweist.

In das Gehäuse 3 ist hier eine Ventileinrichtung 89 integriert, durch welche die Zuführkanäle 23 in einer ersten Funktionsstellung freigebbar und in einer zweiten Funktionsstellung sperrbar sind. Die Ventileinrichtung 89 weist einen Aktuator 91 sowie ein durch diesen betätigbares Sperrglied 93 auf. Dabei sind der Aktuator 91 und das Sperrglied 93 hier in der Warmschrumpfzone 71 zwischen dem Halterungselement 39 und dem Gehäuse 3 angeordnet. Insgesamt ist so die Ventileinrichtung 89 sehr bauraumsparend, klein und kompakt in die Vorkammer-Zündkerze 1 integriert.

Der Aktuator 91 und das Sperrglied 93 sind ringförmig ausgebildet und umgreifen hier insbesondere das Halterungselement 39. Sie sind somit in einem Ringraum 95 zwischen dem Gehäuse 3 und der Zündeinrichtung 13, insbesondere dem von der Zündeinrichtung 13 umfassten Halterungselement 39, angeordnet. Dabei ist das Halterungselement 39 hier radial innerhalb des Gehäuses 3 angeordnet.

In Figur 3 ist ein Detail der Ventileinrichtung 89 mit einem Kreis K gekennzeichnet.

**Fig. 4** zeigt das in Figur 3 mit dem Kreis K gekennzeichnet Detail in vergrößerter Darstellung. Gleiche und funktionsgleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die vorangegangene Beschreibung verwiesen wird.

Der Aktuator 91 ist als ringförmiges Piezoelement ausgebildet, welches sich bei Anlegen einer elektrischen Spannung – in Figur 4 – in vertikaler Richtung ausdehnen und/oder kontrahieren

kann. Dabei wirkt der Aktuator 91 auf das Sperrglied 93, welches durch ein Federelement 96, das bevorzugt als Tellerfeder ausgebildet ist, gegen den Aktuator 91 vorgespannt ist. Dabei stützt sich das Federelement 96 – in Längsrichtung gesehen – auf einer Schulter 97 des Gehäuses 3 ab. Das Sperrglied 93 ist ringförmig ausgebildet und erstreckt sich mit einem ringförmigen Vorsprung 99 in eine ebenfalls ringförmige Ausnehmung 101 des Gehäuses 3 hinein, wobei die ringförmige Ausnehmung 101 den ersten Teilabschnitt 85 der Zuführkanäle 23 unterbricht. Das Sperrglied 93 weist eine Bohrung 103 auf, die in einer ersten Funktionsstellung des Sperrglieds 93 nicht mit dem ersten Teilabschnitt 85 fluchtet, sodass dieser durch das Sperrglied 93 verschlossen ist. In dieser ersten Funktionsstellung ist vorzugsweise der Aktuator 91 spannungslos und nicht ausgedehnt, wobei das Sperrglied 93 durch die Vorspannkraft des Federelements 96 in Figur 4 nach oben gegen den Aktuator 91 gedrängt wird. Wird der Aktuator 91 bestromt, dehnt er sich – in Figur 4 in vertikaler Richtung – aus und drängt somit das Sperrelement 93 gegen die Kraft des Federelements 96 in Figur 4 nach unten in seine zweite Funktionsstellung. In dieser fluchtet die Bohrung 103 mit dem ersten Teilabschnitt 85 des Zuführkanals 23, sodass dieser freigegeben ist. In dieser Funktionsstellung kann dann Anfettungsbrennstoff durch die Verteilernut 29 und den ersten Teilabschnitt 85 in den zweiten Teilabschnitt 87 und letztlich in die Vorkammer 11 einströmen.

In Figur 4 ist deutlich erkennbar, dass das Sperrglied in einer Richtung betätigbar ist – hier nämlich in Längsrichtung – die senkrecht auf einer Wirkrichtung von Druckkräften steht, welche durch den Anfettungsbrennstoff auf das Sperrglied ausgeübt werden. Diese wirken hier nämlich in dem ersten Teilabschnitt 85 in radialer Richtung. Somit muss das Sperrglied 93 durch den Aktuator 91 nicht entgegen der Druckkräfte, welche der Anfettungsbrennstoff auf es ausübt, verlagert werden, sodass lediglich die Vorspannkraft des Federelements 96 durch den Aktuator 91 überwunden werden muss. Dieser kann daher sehr klein ausgebildet sein und bedarf keiner Kraftverstärkungsmechanismen. Da der erste Teilabschnitt 85 außerdem einen sehr kleinen Durchmesser aufweist, ergibt sich nur ein sehr kleiner Hubweg für das Sperrglied 93, um den ersten Teilabschnitt zu öffnen oder zu verschließen. Entsprechend muss auch der Aktuator 91 nur einen sehr kleinen Hubweg aufbringen. Es bedarf daher weder einer Kraftverstärkung noch einer Hubwegverlängerung oder Hubverstärkung für den Aktuator 91. Dieser kann daher unmittelbar als ringförmiges Piezoelement ausgebildet sein, ohne dass es weiterer Elemente bedarf. Dadurch ist die gesamte Ventileinrichtung 89 sehr bauraumsparend insbesondere in der Warmschrumpfzone 71 beziehungsweise dem Ringraum 95 unterbringbar, ohne dass hierdurch der Bauraum der Vorkammer-Zündkerze 1 vergrößert wird.

Durch den kleinen Hubweg des Sperrglieds 93 und des Aktuators 91 wird auch eine sehr feine Dosierung des Anfettungsbrennstoffs in die Vorkammer 11 möglich. Hinzu kommt, dass durch die räumlich sehr nahe Anordnung der Ventileinrichtung 89 an der Vorkammer 11 sehr kleine Mengen an Anfettungsbrennstoff präzise und zeitlich exakt gesteuert zugeführt werden können.

Dadurch, dass das Sperrglied 93 auf eine Mehrzahl von Zuführkanälen 23 wirkt, ergibt sich insgesamt ein relativ großer Förderquerschnitt, ohne dass es deswegen eines großen Hubwegs bedarf. Daher ist auch mit einem kleinen Hub des Sperrglieds 93 trotz der geringen Energiedichte und der geringen Volumendichte des Anfettungsbrennstoffs, der bevorzugt gasförmig ist, die Einbringung einer ausreichenden Menge desselben und damit eine ausreichende Erhöhung der Zündenergie in der Vorkammer 11 möglich.

Ein Volumen der Zuführkanäle stromabwärts der Ventileinrichtung 89 wird konstruktiv so klein wie möglich gehalten, wobei dieses Volumen bevorzugt maximal dem Volumen der Vorkammer 11 entspricht. Besonders bevorzugt werden sehr viel kleinere Volumina angestrebt.

In Figur 4 ist noch schematisch eine Steuerungseinrichtung 105 dargestellt, die über eine Wirkverbindung 107 mit dem Aktuator 91 wirkverbunden ist. Dabei ist es möglich, dass es sich bei der Steuerungseinrichtung 105 um das Motorsteuergerät des Gasmotors 51 handelt. Mithilfe der Steuerungseinrichtung 105 ist der Aktuator 91 vorzugsweise gepulst ansteuerbar. Somit ist besonders bevorzugt eine mehrfache, multiple Dosierung des Anfettungsbrennstoffs in die Vorkammer 11 möglich, wobei die Dosierung phasenrichtig auf eine Gasströmung, insbesondere auf eine zeitlich variierende Drall- und Tumbleströmung des Gases in der Vorkammer abstimmbar ist. Hierdurch ist es möglich, den Anfettungsbrennstoff zeitlich genau so einzudosieren, dass sich eine vorzugsweise geschichtete, optimale Verteilung des Anfettungsbrennstoffs in der Vorkammer 11 ergibt. Dadurch, dass es auf diese Weise möglich ist, den Anfettungsbrennstoff mit maximaler Effizienz innerhalb der Vorkammer 11 zu verteilen, ist es nicht mehr nötig, ein Übermaß an Anfettungsbrennstoff in die Vorkammer 11 einzudosieren, um sicherzustellen, dass in den relevanten Bereichen eine ausreichend hohe Gemischqualität vorliegt. Daher kann insbesondere durch die multiple Dosierung mittels der Steuerungseinrichtung 105 und des Aktuators 91 Brennstoff im Betrieb des Gasmotors 51 eingespart werden.

Damit zeigt sich insgesamt, dass es mithilfe der Vorkammer-Zündkerze 1 möglich ist, auch kleinere Gasmotoren 51 mit begrenztem Bauraum derart zu betreiben, dass die Vorteile einer gespülten Vorkammer jedenfalls insoweit verwirklicht werden, als eine ausreichende Zündenergie zur sicheren Entflammung eines sehr mageren Gemischs in einem Hauptbrennraum 61 gegeben ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorkammer-Zündkerze (1) mit
   - einem Gehäuse (3), das
   - eine von einer von mindestens einem Schusskanal (7,9) durchsetzten Wandung (5) umschlossene Vorkammer (11) aufweist, und mit
   - einer Zündeinrichtung (13), die ausgebildet ist, um ein in der Vorkammer (11) angeordnetes zündfähiges Gemisch zu entzünden, wobei
   - das Gehäuse (3) durch mindestens einen Zuführkanal (23) durchsetzt ist, der
   - an einem ersten Ende (25) in die Vorkammer (11) und
   - an einem zweiten Ende (27) außerhalb des Gehäuses (3) in eine Zuführ-Einrichtung (77) für einen Anfettungsbrennstoff mündet,

   **dadurch gekennzeichnet**, dass
   - der Zuführkanal (23) kapillarförmig ausgebildet ist und
   - sich im Wesentlichen in Längsrichtung der Vorkammer-Zündkerze (1) erstreckt.

2. Vorkammer-Zündkerze (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer-Zündkerze (1) zur Anordnung in einer Hülse (44), vorzugsweise einer Wasserhülse (45), ausgebildet ist, wobei das Gehäuse (3) bevorzugt ein Außengewinde (37) zum Einschrauben in ein entsprechendes Innengewinde (47) der Hülse (44), insbesondere der Wasserhülse (45), aufweist.

3. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zuführkanal (23) einen Durchmesser aufweist, der von mindestens 0,5 % bis höchstens 10 % eines Durchmessers der Vorkammer (11), vorzugsweise von mindestens 0,1 mm bis höchstens 1 mm, besonders bevorzugt 0,4 mm beträgt.

4. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**; dass der mindestens eine Zuführkanal (23) im Bereich des ersten Endes (25) auf einen Zündbereich (18) oder auf mindestens einen zu kühlenden Bereich in der Vorkammer (11) ausgerichtet ist.

5. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Mehrzahl von Zuführkanälen (23) vorzugsweise symmetrisch entlang eines Umfangs des Gehäuses (3) angeordnet ist, wobei bevorzugt drei Zuführkanäle (23), vier Zuführkanäle (23) oder ein Ringspalt vorgesehen ist/sind.

6. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gehäuse (3) einteilig ausgebildet ist, oder dass das Gehäuse (3) zwei Gehäuseteile umfasst, wobei ein innerer Gehäuseteil (65) konzentrisch in einem äußeren Gehäuseteil (67) angeordnet ist, und wobei der Zuführkanal (23) bereichsweise einen zwischen dem inneren Gehäuseteil (65) und dem äußeren Gehäuseteil (67) angeordneten Ringspalt (69) umfasst.

7. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorkammer-Zündkerze (1) eine in das Gehäuse (3) integrierte Ventileinrichtung (89) aufweist, durch die der mindestens eine Zuführkanal (23) freigebbar und sperrbar ist, wobei die Ventileinrichtung (89) vorzugsweise einen Aktuator (91) und ein durch den Aktuator (91) betätigbares Sperrglied (93) aufweist, wobei das Sperrglied (93) bevorzugt in einer Richtung betätigbar ist, die senkrecht auf einer Wirkrichtung von auf das Sperrglied (93) wirkenden Druckkräften des Anfettungsbrennstoffs steht.

8. Vorkammer-Zündkerze (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktuator (91) und/oder das Sperrglied (93) ringförmig ausgebildet ist/sind, wobei der Aktuator (91) und/oder das Sperrglied (93) bevorzugt in einem Ringraum (95) zwischen dem Gehäuse (3) und der radial innerhalb des Gehäuses (3) angeordneten Zündeinrichtung (13) angeordnet ist/sind.

9. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktuator (91) als Piezoelement ausgebildet ist.

10. Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zündeinrichtung (13) eine Mittelelektrode (15) und mindestens eine radial von der Mittelelektrode (15) beabstandete Massenelektrode (17) aufweist, wobei zwischen der mindestens einen Massenelektrode (17) und der Mittelelektrode (15) ein Zündspalt (19) ausgebildet ist, wobei bevorzugt die mindestens eine Massenelektrode (17) die Mittelelektrode (15) – in Umfangsrichtung gesehen – umgreift.

11. Gasmotor (51) mit mindestens einem einen Hauptbrennraum (61) umfassenden Zylinder (59), in dem ein Kolben (63) oszillierbar aufgenommen ist, und mit einem Zylinderkopf (49), durch den der Hauptbrennraum (61) – in Längsrichtung des Zylinders (59) gesehen – dem Kolben (63) gegenüberliegend abgeschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Zylinderkopf (49) eine Vorkammer-Zündkerze (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 derart angeordnet ist, dass die Vorkammer (11) über den mindestens einen Schusskanal (7,9) mit dem Hauptbrennraum (61) in Fluidverbindung steht.

12. Gasmotor (51) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Zylinderkopf (49) eine Hülse (44), insbesondere eine Wasserhülse (45), angeordnet ist, in der die Vorkammer-Zündkerze (1) aufgenommen ist, wobei die Hülse (44), vorzugsweise die Wasserhülse (45), mindestens einen Kanalabschnitt (75) als Teil der Zuführ-Einrichtung (77) für den Anfettungsbrennstoff in den mindestens einen Zuführkanal (23) der Vorkammer-Zündkerze (1) aufweist.

13. Gasmotor (51) nach einem der Ansprüche 11 und 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zylinderkopf (49) einen Kühlbereich (73) aufweist, in dem die Wasserhülse (45) angeordnet ist, wobei die Wasserhülse (45) eine Kühlbohrung (83) aufweist, durch die eine äußere Umfangsfläche (31) des Gehäuses (3) der Vorkammer-Zündkerze (1) mit dem Kühlbereich (73) in Fluidverbindung ist.

14. Gasmotor (51) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **gekennzeichnet durch** eine Steuerungseinrichtung (105), die ausgebildet ist zur insbesondere gepulsten Ansteuerung des Aktuators (91).

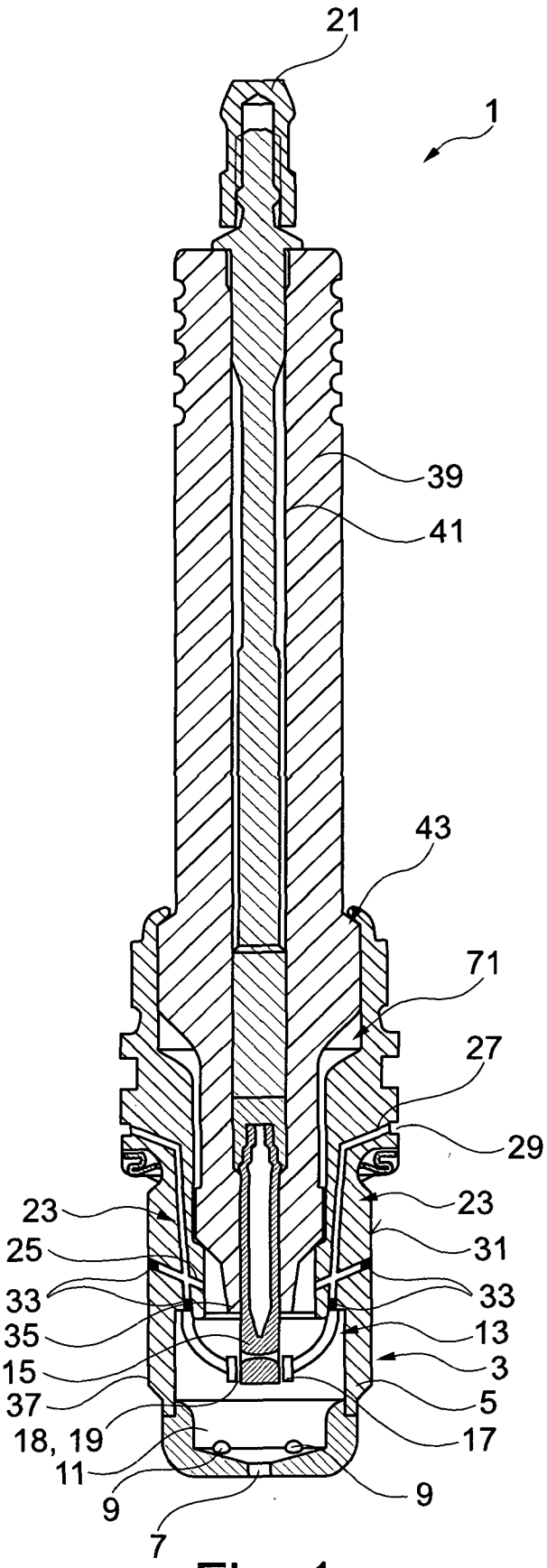



Fig. 1

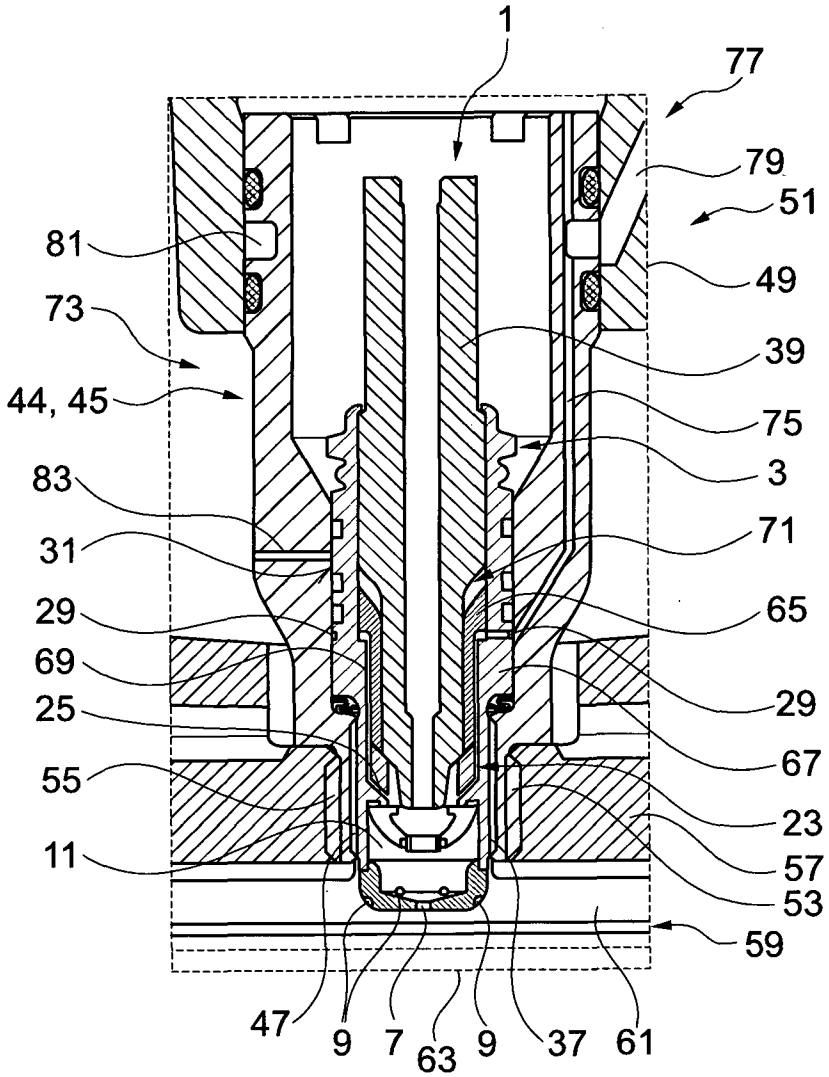

1
77
79
51
81
49
73
39
44, 45
75
3
83
71
31
65
29
69
29
25
67
55
23
57
11
53
59
47
9
7
63
9
37
61

Fig. 2

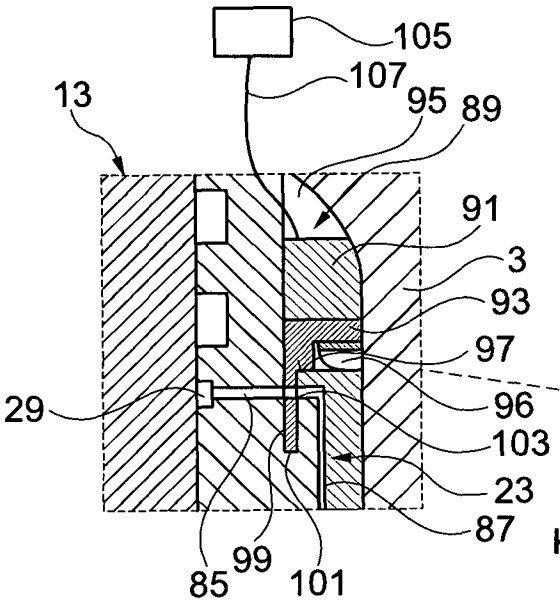

105
107
13
95
89
91
3
93
97
29
96
103
23
87
85
99
101

Fig. 4

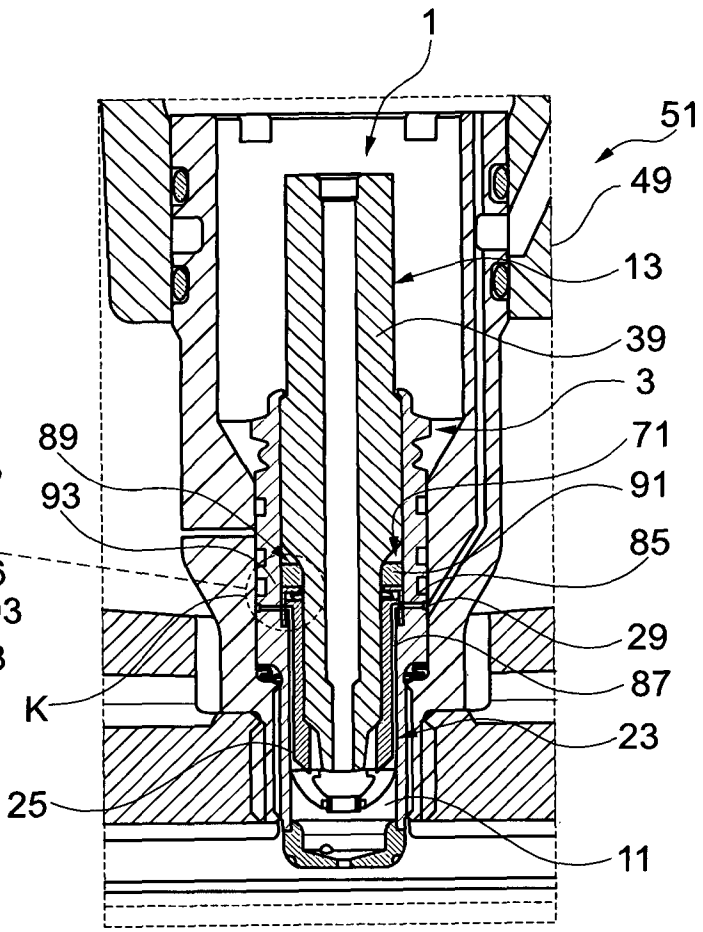

1
51
49
13
39
3
71
89
91
93
85
29
87
K
23
25
11

Fig. 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/001327

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01T13/40 F02M57/06 F02B19/10 H01T13/54
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01T F02M F02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| X | DE 39 13 665 A1 (RUHRGAS AG [DE])<br>31 October 1990 (1990-10-31)<br>column 3, line 4 - column 3, line 30;<br>claims 1-6; figure 4 | 1-5,<br>10-14 |
| X | DE 10 2011 012528 B3 (DKT VERWALTUNGS GMBH [DE]) 24 May 2012 (2012-05-24)<br>the whole document | 1-14 |
| X | US 4 319 552 A (SAUER FRED N ET AL)<br>16 March 1982 (1982-03-16)<br>column 7, line 7 - column 7, line 35;<br>claims 1-15; figure 4 | 1-5,7-14 |
| X | FR 2 743 109 A1 (RENAULT [FR])<br>4 July 1997 (1997-07-04)<br>page 6, line 11 - page 10, line 17; claims 1-14; figure 1 | 1-9,11,<br>14 |

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 3 September 2014 | 10/09/2014 |

| Name and mailing address of the ISA/ | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Ruppert, Christopher |

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/001327

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | US 2012/125287 A1 (CHIERA DOMENICO [US] ET AL) 24 May 2012 (2012-05-24) figures 14,15 | 5 |
| A | WO 00/39449 A1 (HERMAN P ANDERSON TECHNOLOGIES [US]) 6 July 2000 (2000-07-06) figure 3 | 6 |

1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2014/001327

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---|---|
| DE 3913665 A1 | 31-10-1990 | NONE | |
| DE 102011012528 B3 | 24-05-2012 | NONE | |
| US 4319552 A | 16-03-1982 | NONE | |
| FR 2743109 A1 | 04-07-1997 | NONE | |
| US 2012125287 A1 | 24-05-2012 | NONE | |
| WO 0039449 A1 | 06-07-2000 | AU 2381500 A | 31-07-2000 |
| | | US 6119651 A | 19-09-2000 |
| | | WO 0039449 A1 | 06-07-2000 |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/001327

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01T13/40 F02M57/06 F02B19/10 H01T13/54
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )
H01T F02M F02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| X | DE 39 13 665 A1 (RUHRGAS AG [DE])<br>31. Oktober 1990 (1990-10-31)<br>Spalte 3, Zeile 4 - Spalte 3, Zeile 30;<br>Ansprüche 1-6; Abbildung 4 | 1-5,<br>10-14 |
| X | DE 10 2011 012528 B3 (DKT VERWALTUNGS GMBH [DE]) 24. Mai 2012 (2012-05-24)<br>das ganze Dokument | 1-14 |
| X | US 4 319 552 A (SAUER FRED N ET AL)<br>16. März 1982 (1982-03-16)<br>Spalte 7, Zeile 7 - Spalte 7, Zeile 35;<br>Ansprüche 1-15; Abbildung 4 | 1-5,7-14 |
| X | FR 2 743 109 A1 (RENAULT [FR])<br>4. Juli 1997 (1997-07-04)<br>Seite 6, Zeile 11 - Seite 10, Zeile 17;<br>Ansprüche 1-14; Abbildung 1 | 1-9,11,<br>14 |

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
|---|---|
| 3. September 2014 | 10/09/2014 |

| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde | Bevollmächtigter Bediensteter |
|---|---|
| Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Ruppert, Christopher |

1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/001327

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|---|---|---|
| A | US 2012/125287 A1 (CHIERA DOMENICO [US] ET AL) 24. Mai 2012 (2012-05-24) Abbildungen 14,15 | 5 |
| A | WO 00/39449 A1 (HERMAN P ANDERSON TECHNOLOGIES [US]) 6. Juli 2000 (2000-07-06) Abbildung 3 | 6 |

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/001327

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|---|---|---|---|
| DE 3913665 A1 | 31-10-1990 | KEINE | |
| DE 102011012528 B3 | 24-05-2012 | KEINE | |
| US 4319552 A | 16-03-1982 | KEINE | |
| FR 2743109 A1 | 04-07-1997 | KEINE | |
| US 2012125287 A1 | 24-05-2012 | KEINE | |
| WO 0039449 A1 | 06-07-2000 | AU 2381500 A | 31-07-2000 |
| | | US 6119651 A | 19-09-2000 |
| | | WO 0039449 A1 | 06-07-2000 |