

(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
1. Dezember 2011 (01.12.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/147620 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *F02P 23/04* (2006.01) (DE). **ENGELHARDT, Joerg** [DE/DE]; Am Kornfeld 20, 71254 Ditzingen (Hirschlanden) (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/055185 (74) **Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 4. April 2011 (04.04.2011) (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2010 029 385.7 27. Mai 2010 (27.05.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WEINROTTER, Martin** [AT/DE]; Franz-Schubert Str. 74, 70195 Stuttgart-Botnang (DE). **WOERNER, Pascal** [DE/DE]; Banzhaldenstr. 40, 70469 Stuttgart (DE). **RAIMANN, Juergen** [DE/DE]; Egerlandstr. 13, 71263 Weil der Stadt
- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LASER-INDUCED SPARK IGNITION FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung : LASERINDUZIERTE FREMDZÜNDUNG FÜR EINE BRENNKRAFTMASCHINE

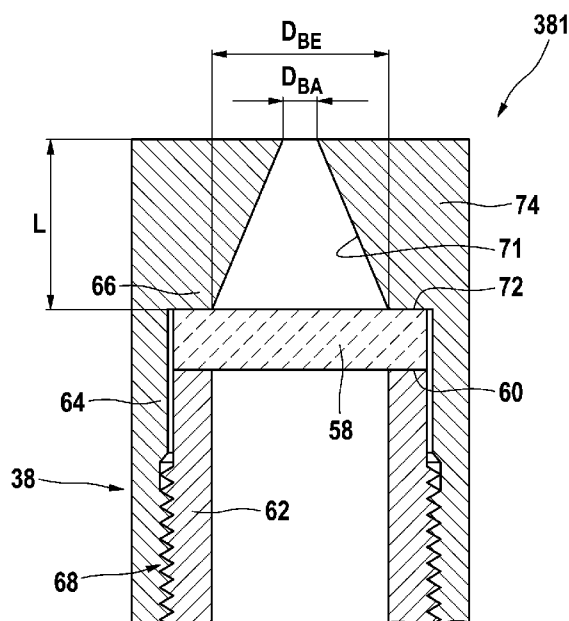


Fig. 6

(57) **Abstract:** The invention relates to laser spark plugs for an internal combustion engine (10) comprising at least one means (26) for guiding, forming and/or producing laser radiation (24), and also comprising a combustion chamber window (58) and a housing (38), characterised in that the housing (38) comprises, on the side of the combustion chamber window (58) opposing the means (26), especially on an end (381) of the housing on the side of the combustion chamber, a screen (74) for the passage of the laser radiation (24) guided, formed and/or produced by the means into a combustion chamber (14). The screen (74) has a maximum outlet cross-section (Q_{BA}) of 78mm², especially 19mm², on the side thereof opposing the combustion chamber window.

(57) **Zusammenfassung:** Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine (10) umfassend mindestens ein Mittel (26) zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung (24), ferner umfassend ein Brennraumfenster (58) und ein Gehäuse (38), dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (38) auf der dem Mittel (26) gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters (58), insbesondere an einem brennraumseitigen Ende (381) des Gehäuses, eine Blende (74) zum Durchtritt der durch das Mittel (26) geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, wobei die Blende (74) auf ihrer von dem Brennraumfenster (58) abgewandten Seite einen Austrittsquerschnitt (Q_{BA}) von 78mm² oder weniger, insbesondere von 19mm² oder weniger, aufweist.

WO 2011/147620 A1

WO 2011/147620 A1 

IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, **Veröffentlicht:**
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz*
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). *3)*

5 Beschreibung

Titel

Laserinduzierte Fremdzündung für eine Brennkraftmaschine

10 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Laserzündkerze gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Beispielsweise aus der WO 2005/066488 A1 ist eine Vorrichtung zum Zünden einer Brennkraftmaschine bekannt, die einen Zündlaser umfasst. Der Zündlaser weist an seinem brennraumseitigen Ende ein Brennraumfenster auf, welches transmissiv für die von dem Zündlaser emittierten Laserimpulse ist. Gleichzeitig muss das Brennraumfenster den im Brennraum herrschenden hohen Drücken und Temperaturen widerstehen und das Innere des Zündlasers gegen den Brennraum hin abdichten. Dabei können insbesondere an der dem Brennraum zugewandten Oberfläche des Brennraumfensters hohe Oberflächentemperaturen und Drücke sowie Verschmutzungen, zum Beispiel in Form von Ölaschenablagerungen, Partikel, etc., auftreten.

Bei der bekannten Vorrichtung ist es als nachteilig anzusehen, dass bestimmte Bestandteile von Abgasen, wie beispielsweise Ölaschen oder Ruß, das Brennraumfenster schädigen, beispielsweise indem sich derartige Bestandteile auf dem Brennraumfenster ablagern und dessen Eigenschaften, insbesondere die Transmission für Laserstrahlung, verschlechtern.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung hat hingegen den Vorteil, den Betrieb der Laserzündkerze zuverlässiger zu gestalten. Insbesondere werden erfindungsgemäß Maßnahmen ergriffen, um Ablagerungen auf dem Brennraumfenster zu reduzieren. Zu diesem Zweck ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine

mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung und ein Brennraumfenster und ein Gehäuse umfasst, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel

5 geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist. Die Blende beeinflusst die Bedingungen, denen das Brennraumfenster ausgesetzt ist, sodass die Bildung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster vermindert wird und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze insgesamt verbessert ist.

Bei dem Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung kann

10 es sich einerseits um einen Festkörperlaser, beispielsweise um einen passiv gütegeschalteten Festkörperlaser, der beispielsweise monolithisch ausgebildet ist, handeln. Vorrichtungen zur optischen Anregung des Festkörperlasers, insbesondere Halbleiterlaser, können von der Laserzündkerze umfasst sein. Alternativ ist es möglich, Vorrichtungen zur optischen Anregung des Festkörperlasers von der Laserzündkerze

15 beabstandet anzuordnen. In diesem Fall kann es sich bei dem Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung um ein optisches Fenster oder um eine optische Faser handeln, durch die eine der optischen Anregung des Festkörperlasers dienende Strahlung in die Laserzündkerze eintreten kann. Auch die von der Laserzündkerze beabstandete Anordnung eines oder mehrerer Festkörperlaser,

20 insbesondere von gütegeschalteten oder modengekoppelten Festkörperlaser, ist möglich. In diesem Fall kann deren Emission der Laserzündkerze beispielsweise in einer optischen Faser zugeführt werden, wobei die Laserzündkerze selbst kein laseraktives Element, sondern lediglich strahlführende und/oder strahlformende Mittel, insbesondere Linsen und/oder Spiegel, umfasst.

Durch das Gehäuse ist insbesondere die Montierbarkeit der Laserzündkerze an eine Brennkraftmaschine sichergestellt. Zu diesem Zweck können an sich bekannte Befestigungsmittel vorgesehen sein, wie von dem Gehäuse umfasste Gewinde und/oder von dem Gehäuse umfasste Dicht- und/oder Anlageflächen, die mit weiteren Spannmitteln, beispielsweise mit Spannpratzen, in Wechselwirkung treten können. Dem

30 Gehäuse kommt ferner insbesondere die Aufgabe zu, das mindestens eine Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung und das Brennraumfenster mechanisch zu fixieren.

Das Brennraumfenster ist eine transparente, aus mindestens einem dauerhaft hitze- und strahlungsbeständigen Festkörper, beispielsweise einem Glas oder Kristall, zum Beispiel

35 Saphir, bestehende Komponente. Dabei handelt es sich insbesondere um die in Strahlungsrichtung hinterste von der Laserzündkerze umfasste Komponente der

genannten Art, sodass die dem Brennraum zugewandte Oberfläche des Brennraumfensters mit dem Brennraum kommuniziert.

Um eine Verschmutzung und/oder Schädigung der dem Brennraum ausgesetzten Seite des Brennraumfensters durch im Brennraum vorherrschende Bedingungen (hohe

- 5 Temperatur, hoher Druck, hohe Strömungsgeschwindigkeit) und Medien (Partikel, Ölaschen etc.) weitgehend zu reduzieren, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Gehäuse auf seiner dem Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, also insbesondere auf der dem Brennraum zugewandten Seite des Brennraumfensters, eine Blende aufweist.
- 10 Das Brennraumfenster ist somit insbesondere zwischen dem Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung und der Blende angeordnet. Bevorzugt bildet die Blende einen brennraumseitigen Endabschnitt des Gehäuses. Es ist insbesondere möglich, die Blende einstückig mit dem Gehäuse der Laserzündkerze und/oder aus dem gleichen Material wie das Gehäuse auszubilden. Alternativ ist die Blende als separates
- 15 Bauteil ausgebildet und an einem weiteren Teil des Gehäuses befestigt, beispielsweise verschweißt oder verschraubt. Optional sind brennraumseitig der Blende weitere von der Laserzündkerze umfasste Baugruppen, beispielsweise gespülte und/oder ungespülte Vorkammern, angeordnet.

- Die Blende ist insbesondere ein einen Durchgang, insbesondere genau einen Durchgang, aufweisendes Gebilde. Die dem Brennraum zugewandte Seite des Brennraumfensters kommuniziert mit dem Brennraum und/oder mit einer der Blende vorgelagerten Vorkammer der Laserzündkerze, insbesondere ausschließlich, durch den einen Durchgang der Blende. Der Durchgang wird radial zur Strahlungsrichtung durch die Innenkontur der Blende begrenzt. Der Durchgang ist überdies vorgesehen zum Durchtritt
- 20 der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine, in eine Vorkammer des Brennraums und/oder in eine der Blende vorgelagerte Vorkammer der Laserzündkerze.

- Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, dass durch die Vorsehung einer Blende, beziehungsweise durch eine geeignete Ausbildung einer solchen Blende, ein Schutz des
- 30 Brennraumfensters möglich ist, insbesondere ein Schutz des Brennraumfensters vor in einem Brennraum vorherrschende Bedingungen, insbesondere vor hohen Temperaturen, hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Medien wie Ölaschen etc.

- Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Blende wird zum einen die Menge der sich auf dem Brennraumfenster niederschlagenden Verschmutzung in Form von Partikel, Ölaschen, etc. reduziert. Andererseits wird der Impuls mit dem zum Beispiel die Partikel auf die Oberfläche des Brennraumfensters auftreffen, reduziert. Beide Effekte sorgen
- 35

jeweils dafür, dass Ablagerungen auf dem Brennraumfenster deutlich verringert werden und die wenigen Ablagerungen weniger fest am Brennraumfenster haften. In Folge dessen ist die erfindungsgemäße Laserzündeinrichtung zuverlässiger. Eine weitere Wirkung der Blende ist es, dass die Temperatur des Brennraumfensters herabgesetzt ist.

- 5 Durch die herabgesetzte Temperatur wird eine chemische Reaktion der Ablagerungen bzw. eine chemische Reaktion des Brennraumfensters mit den Ablagerungen, gleichsam ein Einbrennen der Ablagerungen und somit eine bleibende Schädigung des Brennraumfensters, vermieden. Verbleibenden Ablagerungen haften somit weniger fest am Brennraumfenster und lassen sich leicht abreinigen. Auch eine Minderung des an dem
- 10 Brennraumfensters anliegenden Drucks, beziehungsweise der dort erfolgenden Druckänderungsraten, kann durch eine erfindungsgemäße Blende bewirkt werden, woraus ebenfalls Zuverlässigkeitserhöhungen resultieren können.

- In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, die Länge der Blende gezielt zu wählen. Unter der Länge der Blende ist hierbei insbesondere die Länge
- 15 des Durchtritts der Blende in Strahlrichtung zu verstehen. Alternativ kann auch eine Längsachse der Laserzündkerze oder eine Richtung senkrecht auf der dem Brennraum zugewandten Fläche des Brennraumfensters zugrunde gelegt werden. Die Länge des Durchtritts bemisst sich ferner zwischen der dem Brennraum zugewandten Öffnung (auch: Austrittsöffnung) und der dem Brennraum abgewandten Öffnung (auch: Eintrittsöffnung)
- 20 der Blende. Bei Blenden bzw. Durchgängen mit unregelmäßig geformten Öffnungen ist bezüglich deren Lage insbesondere darauf abzustellen, ob eine laterale Abschirmung des als Durchgang in Betracht kommenden Abschnitts überwiegend gegeben ist. Die Vermeidung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster, insbesondere durch Strömungsumlenkung und durch Herabsetzung der Temperatur des Brennraumfensters,
- 25 erfolgt bei Blenden, deren Länge 4mm oder mehr beträgt. Zunehmend besonders gute Ergebnisse werden mit Blenden, deren Mindestlänge 6mm, 8mm, 10mm oder 12mm beträgt, erzielt. Als Obergrenze für die Länge der Blende kommen 25mm, 20mm oder 15mm in Betracht. Noch längere Blenden könnten die Länge und damit den für den

- 30 In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende vorgesehen, bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des
- 35 Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten

Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, die Blende, insbesondere ein Material der Blende gezielt so zu wählen, dass es eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist.

Vorzugsweise sollte das Material der Blende auch eine hohe Verschleißfestigkeit, insbesondere Warmfestigkeit, wie sie beispielsweise durch hochlegierte Stähle erreichbar ist, aufweisen.

Das Material der gesamten Blende kann hierbei mit dem des gesamten Gehäuses einheitlich sein und eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Es ist aber auch möglich, lediglich die gesamte Blende aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit auszubilden, während weitere Bestandteile des Gehäuses eine andere, insbesondere geringere, Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Auch ist es möglich, lediglich Teile der Blende, zum Beispiel bezogen auf Masse und/oder Volumen überwiegende Teile der Blende und/oder innen liegende, gleichsam als „Seelen“ ausgebildete, Teile der Blende, aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit auszubilden, während weitere Teile der Blende eine andere, insbesondere geringere, Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Mit einer solchen Anordnung ist vorteilhaft die Einstellung der gewünschten Wärmeleitung mit gleichzeitig hoher Verschleißfestigkeit erreichbar.

Die Vermeidung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster insbesondere durch die Herabsetzung der Temperatur des Brennraumfensters, tritt bereits auf, wenn die Blende ein Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von $60 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ oder mehr aufweist, insbesondere aus einem solchen Material ganz oder abschnittsweise besteht. Zunehmend besonders gute Ergebnisse werden mit Blenden, die ein Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von $80 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ oder mehr oder $120 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ oder mehr aufweisen, insbesondere aus einem solchen Material bestehen, erreicht. Insbesondere kommen Messing und Nickel und Kupfer und Legierungen aus Messing und Nickel sowie Kupferlegierungen in Betracht, für innen liegende, gleichsam als „Seelen“ ausgebildete, Teile der Blende besonders Kupfer.

Eine weitere Maßnahme zur Herabsetzung der Temperatur des Brennraumfensters ist es, bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, im Inneren der Blende mindestens einen Kühlkanal vorzusehen. Der Kühlkanal ist insbesondere zur Durchströmung mit einem Kühlmedium, zum Beispiel einer Kühlflüssigkeit, vorgesehen. Die Vorsehung mehrerer Kühlkanäle und/oder eines

Kühlkanaldurchmessers von 1 mm² oder mehr und/oder 5 mm² oder weniger ist bevorzugt. Ein derartiger Kühlkanal ist an sich bereits zur Herabsetzung der Temperatur des Brennraumfensters geeignet. In Zusammenwirkung mit einer Blende, die ein Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit aufweist, lässt sich die Wärme aus der Blende besonders gut dem Kühlkanal zuführen und damit von der Blende abführen.

5

Sowohl die gezielte Wahl der Länge der Blende, als auch die gezielte Materialwahl und/oder die Vorsehung von Kühlkanälen sind für sich alleine, besonders aber in Zusammenwirkung, geeignet, die Herabsetzung der Temperatur des Brennraumfensters zu bewirken, wobei insbesondere Kombinationen eines angegebenen, die Länge der Blende betreffenden Merkmals mit einem angegebenen, die Wärmeleitung der Blende betreffenden Merkmal hinsichtlich der Vermeidung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster und damit hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze vorteilhaft sind. Auch die Herabsetzung der Temperatur von in dem Bereich des Brennraumfensters angeordneten Dichtstellen verbessert die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze.

10

15

In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende vorgesehen, dass bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagert ein mit dem Inneren der Blende kommunizierender Spalt vorgesehen ist, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird.

20

25

Unter einem Spalt ist hierbei insbesondere ein Raumbereich zu verstehen, der axial beidseitig, insbesondere jeweils einseitig durch das Brennraumfenster und die Blende, und radial außenseitig, insbesondere durch das Gehäuse, begrenzt ist und über seine radiale Innenseite mit dem Inneren der Blende kommuniziert. In besonderer Ausbildung ist der Spalt somit zwischen der Blende und dem Brennraumfenster ausgebildet. Unter der Höhe des Spaltes ist insbesondere der Abstand der den Spalt axial begrenzenden Flächen zu verstehen. Bei unregelmäßigen Geometrien ist darauf abzustellen, ob eine axiale Begrenzung des Spaltes überwiegend gegeben ist.

30

35

Dieser Ausgestaltung der Erfindung liegt zum einen die Erkenntnis zu Grunde, dass sich die Temperatur eines in den erfindungsgemäß ausgebildeten Spalt eindringenden heißen

Gases, insbesondere eines brennenden Gases, stark herabsetzt. Infolge dessen kommt es zu einem sogenannten Quenching, mit dem ein Erlöschen des brennenden Gases und eine Russbildung innerhalb des Spaltes einhergehen. Dieser Ausgestaltung der Erfindung liegt zum anderen auch die Erkenntnis zu Grunde, dass sich der so gebildete Ruß auch auf der dem Brennraum zugewandten Seite des Brennraumfensters deponiert, jedoch durch Laserstrahlung mit Intensitäten, wie sie üblicherweise im Bereich des Brennraumfensters auftreten, zuverlässig ablatiert werden kann, sodass in Summe aus der in dem Spalt auftretende Russbildung nur eine moderate Beeinträchtigung der Transparenz des Brennraumfensters resultiert.

Überraschenderweise hat es sich gezeigt, dass durch die kontinuierliche Deponierung und Ablation von Russ auf der dem Brennraum zugewandten Seite des Brennraumfensters bewirkt werden kann, dass die Verschmutzung der dem Brennraum zugewandten Seite des Brennraumfensters durch andere Stoffe, insbesondere durch weitere Verbrennungsprodukte wie beispielsweise Ölaschen, vermieden oder erheblich reduziert werden kann. Dieser Tatsache kommt eine besondere Bedeutung zu, da derartige Stoffe, insbesondere Ölaschen, durch Laserstrahlung mit Intensitäten, wie sie üblicherweise im Bereich des Brennraumfensters auftreten, nicht oder nur teilweise oder mit erhöhtem Aufwand zuverlässig ablatiert werden können.

Die in Summe resultierende Vermeidung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster tritt für Spalthöhen auf, die höchstens 1 mm, höchstens 0,5 mm, höchstens 0,3 mm oder höchstens 0,1 mm betragen. Als Untergrenze für die Höhe des Spaltes kommen 0,05 mm und 0,08 mm in Betracht. In zu flachen Spalten kann nicht ausreichend Russ gebildet werden. Vorteilhaft ist es überdies, den Spalt dem Brennraumfenster unmittelbar vorzulagern und/oder die Grundfläche des Spaltes ring- oder sichelförmig zu wählen.

Der Flächeninhalt der Grundfläche des Spaltes, (nachfolgend „Spaltquerschnitt“ genannt) wird bevorzugt ausreichend groß gewählt, sodass die Menge des eindringenden Gases für eine adäquate Russbildung ausreichend ist. Zunehmend vorteilhaft ist es hierbei, wenn ein dem Spalt brennraumseitig vorgelagerter Bereich im Inneren der Blende einen Eintrittsquerschnitt der Blende aufweist und der Spaltquerschnitt mindestens 10% des Eintrittsquerschnitts, mindestens 30% des Eintrittsquerschnitts oder mindestens 50% des Eintrittsquerschnitts beträgt oder mindestens doppelt so groß ist wie der Eintrittsquerschnitt oder mindestens vier mal so groß ist wie der Eintrittsquerschnitt. Als Obergrenzen kommen Spaltquerschnitte in Betracht, die 25 mal so groß sind wie der Eintrittsquerschnitt, insbesondere 10 mal so groß wie der Eintrittsquerschnitt, da die Laserzündkerze sonst übermäßig groß würde.

Sowohl die gezielte Wahl der Länge der Blende, die gezielte Materialwahl und/oder die Vorsehung von Kühlkanälen als auch die erfindungsgemäße Vorsehung eines Spaltes der oben beschriebenen Art sind für sich alleine bereits geeignet, die Herabsetzung der Temperatur in einem dem Brennraumfenster vorgelagerten Volumen zu bewirken.

- 5 Insbesondere erfolgt jedoch eine effiziente Kühlung in diesem Volumen und damit die Herbeiführung von Quenching-Effekten und Russbildung, durch ein Zusammenwirken des Spaltes mit einer langen und/oder gut wärmeleitenden Blende, bei dem das durch den Spalt eingeschlossene Volumen durch die Wechselwirkung mit dem Brennraumfenster, das eine relativ niedrige Temperatur hat, besonders wirksam gekühlt wird.
- 10 Die oben beschriebene Wirkung der Russbildung, Deponierung und Ablation ist insbesondere bei dem Einsatz von Laserzündkerzen in Brennkraftmaschinen, deren Schmierung von additivierten Ölen, insbesondere höher additivierten Ölen, Gebrauch macht, vorteilhaft, da insbesondere bei der Verbrennung solcher Öle Ölaschen entstehen, die auf andere Weise nur schwer entfernbar sind. Andererseits ist auch daran zu denken,
- 15 Laserzündkerzen für die Verwendung in Brennkraftmaschinen, deren Schmierung von nicht additivierten Ölen, d.h. aschefreien Ölen, Gebrauch macht, zu optimieren, indem auf eine dann nicht notwendige Rußbildung vollständig oder weitgehend verzichtet wird. In diesem Sinne wäre bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung,
- 20 ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagert ein mit dem Inneren der Blende
- 25 kommunizierender Spalt vorgesehen ist, die Höhe des Spaltes gezielt so zu wählen, dass Russbildung vollständig oder zumindest weitgehend vermieden wird. Hierfür ist es vorteilhaft, die Höhe des Spaltes nicht geringer als 0,3 mm, insbesondere nicht geringer als 1 mm, zu wählen. Besonders sicher lässt sich eine Russbildung vermeiden, wenn der Spalt noch höher, zum Beispiel mindestens 2 mm oder mindestens 3 mm hoch, ist. Auch
- 30 die Vorsehung eines im Vergleich zum Eintrittsquerschnitt der Blende kleinen Spaltquerschnitt ist günstig, insbesondere ist vorteilhaft, dass der Spaltquerschnitt höchstens 100%, insbesondere höchstens 40%, bevorzugt höchstens 20% des Eintrittsquerschnitts der Blende beträgt.

- 35 Erfindungsgemäß ist zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster

brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, vorgesehen, dass bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, die Blende auf ihrer von dem Brennraumfenster abgewandten Seite einen kleinen Öffnungsquerschnitt (auch: „Austrittsquerschnitt“) aufweist.

Der Austrittsquerschnitt der Blende ist insbesondere der offene brennraumseitige Querschnitt des Durchgangs der Blende. Bei Durchgängen mit unregelmäßig geformter Austrittsöffnung ist bezüglich des Austrittsquerschnitts insbesondere darauf abzustellen, ob eine laterale Abschirmung des als Durchgang in Betracht kommenden Abschnitts überwiegend gegeben ist.

Aus der Kleinheit des Austrittsquerschnitts der Blende resultiert die vorteilhafte Wirkung, dass das Brennraumfenster eine Abschirmung von den in dem Brennraum vorherrschenden Bedingungen, insbesondere vor hoher Temperatur, vor raschen Druckschwankungen, vor hoher Strömungsgeschwindigkeit und/oder vor Partikeln von Ölaschen, Ruß und dergleichen, erfährt. Somit können Ablagerungen auf dem Brennraumfenster vermieden und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze erhöht werden. Diese Wirkung tritt auf, wenn der Austrittsquerschnitt 78 mm^2 oder weniger, insbesondere 19 mm^2 oder weniger beträgt. Zunehmend besonders gute Ergebnisse werden mit Austrittsquerschnitten erreicht, die 7 mm^2 oder weniger, insbesondere 2 mm^2 oder weniger, betragen. Als Untergrenze kommen $0,05 \text{ mm}^2$, $0,4 \text{ mm}^2$ und 1 mm^2 in Betracht. Durch noch kleinere Austrittsdurchmesser ist der Durchtritt der Laserstrahlung durch die Blende unter Umständen nicht mehr ausreichend sicher gewährleistet.

Die gezielte Wahl der Länge der Blende, die gezielte Materialwahl und/oder die Vorsehung von Kühlkanälen sind jeweils für sich alleine oder in Kombinationen miteinander bereits geeignet, die Temperatur des Brennraumfensters herabzusetzen, sodass ein „Einbrennen“ einer Verschmutzung auf dem Brennraumfenster verringert und damit die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze gesteigert ist. Durch die Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten Spaltes lässt sich in der oben beschriebenen Art und Weise eine ähnliche Wirkung erzielen. Werden diese Maßnahmen mit der Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende kombiniert, tritt insgesamt die Wirkung auf, dass einerseits weniger Partikel an das Brennraumfenster

gelangen, das Brennraumfenster andererseits aber auch resistenter gegenüber einer Verschmutzung durch diese verbleibenden Partikel ist. Die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze lässt sich auf diese Weise erheblich steigern.

Die erfindungsgemäße Maßnahme, dass die Blende auf ihrer von dem Brennraumfenster abgewandten Seite einen kleinen Austrittsquerschnitt aufweist die diesbezüglichen
5 Weiterbildungen der Erfindung, kommen für alle Ausführungsformen und Beispiele der Erfindung, auch wo nicht explizit vermerkt, insbesondere optional, in Betracht.

Vorteilhafte Ausführungsformen sehen zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen
10 Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitt der Blende vor, dass eine
15 Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung und ein Brennraumfenster und ein Gehäuse umfasst, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende, insbesondere eine zylindrische Blende, zum Durchtritt der durch das Mittel
20 geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, wobei die Länge der Blende L beträgt und der Austrittsquerschnitt der Blende Q_{BA} beträgt, wobei $1 < L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2} \leq 10$ ist.

Durch diese gezielte Abstimmung der Länge der Blende auf den Öffnungsquerschnitt bzw. den Öffnungsdurchmesser der Blende ist es stets gewährleistet, dass eine übermäßige Belastung des Brennraumfensters durch die Einwirkung schädlicher
25 Bedingungen, wie sie in Brennräumen von Brennkraftmaschinen vorherrschen, vermieden wird. Wesentlich ist hier, dass die Gesamtwirkung der Länge und Blende und des Öffnungsquerschnitts der Blende im Rahmen der Bedingung $1 < L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2} \leq 10$ berücksichtigt wird. Dem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass auch relativ kurze Blenden die erfindungsgemäßen Vorteile aufweisen können, vorausgesetzt der
30 Öffnungsquerschnitt dieser Blenden ist in dem definierten Maße klein. Andererseits können auch Blenden mit einem relativ großen Öffnungsquerschnitt noch eine ausreichende abschirmende Wirkung aufweisen, vorausgesetzt, die Blende weist eine große Länge auf. Besonders tritt die angegebene technische Wirkung auf, wenn $2 \leq L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2}$ und/oder $L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2} \leq 7$, insbesondere $L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2} \leq 6$, ist. Im Spezialfall
35 eines runden Austrittsquerschnitts der Blende stellt die Größe $(4Q_{BA}/\pi)^{1/2}$ den Austrittsdurchmesser der Blende dar.

In vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende

5 kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitt der Blende vorgesehen, dass bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel

10 gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, die Innenkontur der Blende in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der

15 Blende beabstandet ist, zumindest eine Kante, insbesondere eine Vielzahl von Kanten, aufweist.

Unter einer Kante der Innenkontur der Blende ist hierbei insbesondere ein geometrisches Objekt, insbesondere eine Linie, zu verstehen, an der verschiedene flächige Bereiche der Innenkontur der Blende unter einem von Null verschiedenen Winkel aufeinandertreffen.

20 Als ein Bereich der Innenkontur der Blende, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, ist ein mittiger Bereich der Innenkontur der Blende zu verstehen, insbesondere ein Bereich, der hinsichtlich der Längserstreckung der Blende mittig ist. Ein Bereich ist hinsichtlich der Längserstreckung der Blende insbesondere dann mittig, wenn

25 er zwischen einem vorderen Fünftel und einem hinteren Fünftel der Blende angeordnet ist, insbesondere zwischen einem vorderen Viertel und einem hinteren Viertel der Blende angeordnet ist, oder in einem zentralen Drittel der Blende angeordnet ist. Unter einer Innenkontur, die in einem Bereich eine Kante aufweist, ist zu verstehen, dass zumindest

30 Teile der Kante in diesem Bereich angeordnet sind, wobei auch möglich ist, dass die Kante in aber zusätzlich auch außerhalb dieses Bereiches angeordnet ist. Als vorteilhafter Sonderfall kann stets auch vorgesehen sein, dass die Kante vollständig in dem Bereich liegt.

Die technische Wirkung einer Kante der beschriebenen Art besteht darin, dass sie einen Ausgangspunkt für eine Störung des Einströmens von Gasen in die Blende oder der

35 Strömung in der Blende darstellt. Insbesondere kann es ausgehend von der Kante zu einer Verwirbelung des in die Blende einströmenden Gases oder des in der Blende

strömenden Gases kommen. Infolge der Störung, insbesondere infolge der Verwirbelung, ist die Wechselwirkung des in die Blende einströmenden Gases mit der Innenkontur der Blende erhöht und infolge dieser erhöhten Wechselwirkung auch die Neigung von im Gas enthaltenen Partikeln, sich innerhalb der Blende und speziell an den Kanten anzulagern und nicht bis zum Brennraumfenster vorzudringen. Auf diese Weise kommt der Kante gleichsam die Wirkung eines Partikelfängers zu. Es kommt somit zu einer Verminderung der Ablagerungen auf dem Brennraumfenster und zu einer erhöhten Zuverlässigkeit der Laserzündkerze.

- Wenngleich die beschriebene Wirkung bereits durch die Vorsehung einer einzigen Kante der beschriebenen Art resultiert, sehen besonders vorteilhafte Weiterbildungen die Vorsehung einer Vielzahl solcher Kanten vor. Eine Vielzahl von Kanten sind zwei oder mehr Kanten, insbesondere mehr als zwei Kanten. Besonders wirkungsvoll ist die Anordnung von einer Kante oder eine Vielzahl von Kanten, wenn sie dem Brennraumfenster zumindest entlang von Teilen der Kante und/oder des Brennraumfensters unverdeckt gegenüberliegt, also ohne dass Teile der Blende zwischen den Teilen der Kante und den Teilen des Brennraumfensters angeordnet sind. In diesem Fall ist die Kante insbesondere geeignet, eine Störung beziehungsweise eine Verwirbelung in die Teile der in die Blende eindringenden Strömung oder der Strömung in der Blende einzufügen, die vorwiegend auf das Brennraumfenster gerichtet sind.
- Eine besonders vorteilhafte Anordnung der Kante beziehungsweise der Vielzahl der Kanten geschieht derart, dass es durch die Anordnung der Kante beziehungsweise durch die Anordnung der Vielzahl der Kanten zur Ausbildung von Stufen kommt und/oder dass sich die Innenkontur der Blende zumindest bereichsweise in Richtung ihres dem Brennraum zugewandten Endes stufenförmig verjüngt. Dabei können insbesondere zumindest zwei, insbesondere zumindest drei, bevorzugt zumindest vier Stufen vorgesehen sein. Zusätzlich kann zumindest eine weitere Stufe, insbesondere eine Vielzahl weitere Stufen vorgesehen sein, an der sich die Blende in Richtung ihres dem Brennraum abgewandten Endes verjüngt. Unter einer Stufe der Innenkontur versteht sich hierbei insbesondere eine Anordnung von zumindest drei Teilflächen der Innenkontur, wobei eine der Teilflächen in Längsrichtung der Innenkontur zwischen den beiden anderen Teilflächen angeordnet ist und wobei die radiale Neigung der einen Teilfläche bezogen auf die radialen Neigungen aller der drei Teilflächen extremal ist. Die Teilflächen können dabei insbesondere eine ringförmige Gestalt aufweisen, aber auch andere Geometrien sind prinzipiell möglich.
- In einer fertigungstechnisch günstigen Variante sind die Stufen nahezu rechtwinklig (88° - 92°), insbesondere rechtwinklig, ausgebildet, das heißt insbesondere, die beiden

Teilflächen verlaufen parallel zu einer Längsachse der Laserzündkerze, während die eine Teilfläche senkrecht dazu orientiert ist. Insbesondere eine Vielzahl derartiger Stufen, zum Beispiel mehr als drei oder mehr als sieben kann vorgesehen sein. Auch Stufen, die aus Flächen bestehen, die stets oder teilweise in stumpfen Winkeln oder stets oder teilweise in spitzen Winkeln, hierbei jedoch vorzugsweise nicht in Winkeln spitzer als 25° , aufeinanderstoßen, sind denkbar und in jeweils unterschiedlicher Art auch vorteilhaft. Auch Kombinationen von Stufen der genannten Arten sind in einer Blende prinzipiell möglich.

Sowohl die Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende als auch die Vorsehung von mindestens einer Kante in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, ermöglichen es jeweils für sich, die Anzahl der Partikel, die auf dem Brennraumfenster auftreffen, zu verringern. Werden beide Maßnahmen miteinander kombiniert, ergibt sich der synergetische Effekt, dass die durch den kleinen Austrittsquerschnitt der Blende räumlich konzentrierte Strömung in die Blende durch geeignete Kanten besonders gezielt stören, insbesondere verwirbeln lassen. Günstig sind hierbei insbesondere Austrittsquerschnitte von 78 mm^2 oder weniger, insbesondere 19 mm^2 oder weniger, bevorzugt 7 mm^2 oder weniger, insbesondere bevorzugt 2 mm^2 oder weniger, wobei diese Austrittsdurchmesser jeweils vorteilhafterweise mit einer stufenförmigen Innenkontur der Blende kombiniert werden kann, insbesondere mit einer stufenförmigen Innenkontur der Blende, die eine Vielzahl von Stufen aufweist, insbesondere von rechtwinkligen Stufen, insbesondere von Stufen, an denen die Querschnittsfläche der Blende jeweils in Richtung von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Innenkontur der Blende zu dem dem Brennraum abgewandten Ende der Innenkontur der Blende um mindestens 10%, insbesondere um mindestens 35%, zunimmt.

Die gezielte Wahl der Länge der Blende, die gezielte Materialwahl und/oder die Vorsehung von Kühlkanälen sind jeweils für sich alleine oder in Kombinationen miteinander bereits geeignet, die Temperatur des Brennraumfensters herabzusetzen, sodass ein „Einbrennen“ von Partikeln auf Brennraumfensters verringert, Ablagerungen vermindert und somit die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze gesteigert ist. Durch die Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten Spaltes lässt sich eine ähnliche Wirkung erzielen. Werden diese Maßnahmen mit der Vorsehung von mindestens einer Kante in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, kombiniert, tritt insgesamt die Wirkung auf, dass einerseits

weniger Partikel an das Brennraumfenster gelangen, das Brennraumfenster andererseits aber auch resistenter gegenüber einer Verschmutzung durch diese wenigen Partikel ist. Die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze lässt sich auf diese Weise erheblich steigern.

In vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist zusätzlich oder alternativ zur gezielten
5 Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, und zusätzlich oder
10 oder alternativ zur Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer Kante der beschriebenen Art vorgesehen, dass bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem
15 brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, wobei die Blende ein dem Brennraum zugewandtes Ende und ein dem Brennraum abgewandtes Ende aufweist, die Innenkontur der Blende in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem
20 Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, einen extremalen Querschnitt aufweist.

Unter einem extremalen Querschnitt der Innenkontur einer Blende ist insbesondere ein Querschnitt zu verstehen, der bezüglich seines Flächeninhaltes und bezüglich der
Längsrichtung der Laserzündkerze ein lokales Maximum darstellt, das heißt
25 insbesondere, sich in beide Längsrichtungen verkleinert, oder ein lokales Minimum darstellt, das heißt insbesondere, sich in beide Längsrichtungen vergrößert. Der extremale Querschnitt der Blende in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, kann sich insbesondere darin äußern, dass es einen Querschnitt
30 der Blende gibt, der größer als der Eintrittsquerschnitt der Blende und größer als der Austrittsquerschnitt der Blende ist, oder dass es einen Querschnitt der Blende gibt, der kleiner als der Eintrittsquerschnitt der Blende und kleiner als der Austrittsquerschnitt der Blende ist. Bei dem extremalen Querschnitt handelt es sich insbesondere um einen Querschnitt, der in einer Ebene liegt, die parallel zu einer Ebene liegt, in der der
35 Austrittsquerschnitt der Blende liegt und/oder der in einer Ebene liegt, die parallel zu einer Ebene liegt, in der der Eintrittsquerschnitt der Blende liegt und/oder die parallel zu einer

Ebene liegt, in der die dem Brennraum zugewandte Oberfläche des Brennraumfensters liegt und/oder die senkrecht zu einer Längsachse der Laserzündkerze orientiert ist.

Die technische Wirkung der Maßnahme, dass die Innenkontur der Blende in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch
5 von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, einen extremalen Querschnitt aufweist, besteht darin, dass der Bereich extremalen Querschnitts einen Ausgangspunkt für eine Störung des Einströmens von Gasen in die Blende oder eine Störung der Strömung in der Blende darstellt. Insbesondere kann es ausgehend von dem Bereich extremalen Querschnitts zu Verwirbelung des in die Blende einströmenden
10 Abgases oder der Strömung in der Blende kommen. Infolge der Störung, insbesondere infolge der Verwirbelung, ist die Wechselwirkung des in die Blende einströmenden Abgases mit der Innenkontur der Blende erhöht und infolge dieser erhöhten Wechselwirkung auch die Neigung von im Abgas enthaltenen Partikeln, sich innerhalb der Blende anzulagern und nicht bis zum Brennraumfenster vorzudringen. Auf diese Weise
15 kommt dem Bereich extremalen Querschnitts gleichsam die Wirkung eines Partikelfängers zu.

Wenngleich die beschriebene Wirkung bereits durch die Vorsehung eines Bereiches, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist und der einen extremalen
20 Querschnitt aufweist, an sich resultiert, sehen Weiterbildungen vor, dass die Blende an ihrem dem Brennraum zugewandten Ende einen Eintrittsquerschnitt aufweist und an ihrem dem Brennraum zugewandten Ende einen Austrittsquerschnitt aufweist und dass der extreme Querschnitt entweder mindestens 10%, insbesondere mindestens 20%, bevorzugt mindestens 30%, kleiner als der Eintrittsquerschnitt und mindestens 10%,
25 insbesondere mindestens 20%, bevorzugt mindestens 30%, kleiner als der Austrittsquerschnitt ist oder mindestens 10%, insbesondere mindestens 20%, bevorzugt mindestens 30%, größer als Eintrittsquerschnitt ist und mindestens 10%, insbesondere mindestens 20%, bevorzugt mindestens 30%, größer als der Austrittsquerschnitt ist. Eine vorteilhafte Form der Innenkontur der Blende sieht vor, dass die Innenkontur der Blende
30 zwei Abschnitte aufweist, die jeweils eine kegelstumpfförmige Form, insbesondere jeweils die Form eines gerade Kreiskegelstumpfes, aufweisen, wobei diese beiden Abschnitte vorzugsweise unmittelbar benachbart sind, also jeweils mit ihrer größeren oder jeweils mit ihrer kleineren Stirnfläche aneinander angrenzen und somit gleichsam einen Doppelkegelstumpf bilden. An der Stelle, an der die Kegelstümpfe aneinandergrenzen
35 bildet sich somit eine Kante aus, die entweder längs einer Einschnürung oder längs einer Ausbauchung der Innenkontur der Blende verläuft.

Neben rotationssymmetrischen Innenkonturen der Blende, die insbesondere umlaufende geometrische Merkmale wie Einschnürungen und/oder Ausbauchungen vorsehen und/oder einen Freistich vorsehen, ist es grundsätzlich möglich und vorteilhaft, bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur

5 Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel

10 geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, von einer rotationssymmetrischen Form der Innenkontur der Blende abzuweichen. Derartige Asymmetrien haben die Wirkung, dass es zu einer erhöhten Wechselwirkung des in die Blende einströmenden Abgases mit der Innenkontur der Blende kommt und infolge dieser erhöhten Wechselwirkung auch die Neigung von im Abgas enthaltenen Partikeln, sich innerhalb der Blende anzulagern und nicht bis zum Brennraumfenster

15 vorzudringen erhöht ist. Die Ablagerungen auf dem Brennraumfenster sind somit vermindert und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze ist erhöht. Spezielle Innenkonturen mit einer nicht rotationssymmetrischen Form weisen zumindest eine Ausnehmung, insbesondere eine Vielzahl von Ausnehmungen auf, die insbesondere sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch

20 von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet sind. Auch Ausbuchtung, insbesondere eine Vielzahl von Ausbuchtungen, die insbesondere sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet sind, sind vorteilhaft, da die Ausnehmung und/oder die Ausbuchtung einen Ausgangspunkt für eine Störung des

25 Einströmens von Abgasen in die Blende darstellen. Insbesondere kann es ausgehend von der Ausnehmung und/oder der Ausbuchtung zu einer Verwirbelung des in die Blende einströmenden Gases kommen. Besonders vorteilhaft befindet sich die Ausbuchtung und/oder die Ausnehmung in einem Bereich der Blende, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum

30 abgewandten Ende der Blende beabstandet ist und der einen extremalen Querschnitt aufweist. Auch die Vorsehung anderer Innenkonturen der Blende, insbesondere solcher, die hinsichtlich einer Strömung optimiert sind, beispielweise nicht scharfkantig, sondern abgerundet und/oder vollständig oder abschnittsweise als Lavaldüse ausgebildet sind, ist grundsätzlich denkbar.

35 In einem Bereich der Innenkontur der Blende, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, wirken sowohl die Vorsehung von einer oder mehrerer Kanten als

auch die Vorsehung extremaler Querschnitte und/oder von Ausnehmungen oder Ausbuchtungen, wie oben beschrieben, bereits jeweils für sich in der Weise, dass eine Störung des Einströmens von Gasen in die Blende dargestellt wird und dass es insbesondere zu einer Verwirbelung des in die Blende einströmenden Gases kommt.

5 Diese technische Wirkung tritt in gesteigertem Maße bei einer Blende mit mehreren der genannten Merkmale auf.

Die gezielte Wahl der Länge der Blende, die gezielte Materialwahl und/oder die Vorsehung von Kühlkanälen sind jeweils für sich alleine oder in Kombinationen miteinander bereits geeignet, die Temperatur des Brennraumfensters herabzusetzen, sodass Ablagerungen auf dem Brennraumfenster vermindert sind und damit die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze gesteigert ist. Durch die Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten Spaltes der oben beschriebenen Art lässt sich wie oben beschrieben für sich allein und besonders in Kombinationen eine ähnlicher Wirkung erzielen. Werden diese Maßnahmen mit der Vorsehung eines extremalen Querschnitts in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende beabstandet ist, kombiniert, tritt insgesamt die Wirkung auf, dass weniger Partikel an das Brennraumfenster gelangen, das Brennraumfenster andererseits aber auch resistenter gegenüber einer Verschmutzung durch diese verbleibenden Partikel ist. Die Lebensdauer der Laserzündkerze lässt sich auf diese Weise erheblich steigern.

In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, dass zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer Kante und/oder eines extremalen Querschnitts der jeweils beschriebenen Art bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, die Laserzündkerze zumindest ein Fokussierungsmittel zur Festlegung einer Strahlform der durch die Blende durchtretenden Laserstrahlung aufweist und der Abstand zwischen Blende und Laserstrahlung zumindest

entlang überwiegender Teile der Innenkontur der Blende einen Höchstabstand nicht überschreitet.

Bei dem zumindest einen Fokussierungsmittel kann es sich um eine Fokussieroptik, beispielsweise um eine Linse oder mehrere Linsen und/oder um einen oder mehrere
5 Spiegel handeln, insbesondere um einen oder mehrere Spiegel mit jeweils einer gekrümmten Oberfläche. Auch die Ausbildung des Brennraumfensters und/oder die Ausbildung des Mittels zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung als fokussierendes Element ist zusätzlich oder alternativ möglich. Durch die Vorsehung des zumindest einen Fokussierungsmittels ist eine Strahlform der durch
10 die Blende durchtretenden Laserstrahlung grundsätzlich festgelegt. Bei Laserzündkerzen, bei denen die Strahlform der durch die Blende durchtretenden Laserstrahlung von einem weiteren Betriebsparameter der Laserzündkerze, zum Beispiel einem Strom oder einer Temperatur, abhängt, ist als die durch die Fokussierungsmittel festgelegte Strahlform, die Strahlform aufzufassen, die durch die Laserzündkerze bereitgestellt wird, wenn der
15 Betriebsparameter einen Wert annimmt, der für den Betrieb der Laserzündkerze vorgesehen ist. Die Strahlform der Laserstrahlung, insbesondere Strahlage, Strahlabmessungen und Abstände zwischen Strahl und Blende verstehen sich gemäß und/oder vor dem Hintergrund der Norm DIN EN ISO 11145.

Der Vorsehung, dass der Abstand zwischen Blende und Laserstrahlung zumindest
20 entlang überwiegender Teile der Innenkontur der Blende einen Höchstabstand nicht überschreitet, liegt einerseits Erkenntnis zugrunde, dass es zur Erreichung einer das Brennraumfenster abschirmenden Wirkung und zur Verminderung von Ablagerungen auf dem Brennraumfenster entlang überwiegenden Teilen der Innenkontur der Blende, insbesondere entlang der gesamten Innenkontur der Blende förderlich ist, wenn der
25 Durchgang der Blende so eng wie nur möglich ausgelegt ist. Andererseits steht dieser Anforderung entgegen, dass ein möglichst großer Anteil der durch das Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung geführten, geformte und/oder erzeugten Laserstrahlung durch die Blende durchtreten soll, die Blende also nicht zu eng sein darf, insbesondere, da auch fertigungstechnische Toleranzen zu berücksichtigen
30 sind.

Ein guter Kompromiss zwischen diesen beiden Anforderungen ist bereits gegeben, wenn entlang überwiegender Teile der Innenkontur der Blende ein Abstand zwischen Blende und Laserstrahlung zwar gegeben ist, dieser aber einen Höchstabstand von 4 mm nicht überschreitet. Noch bessere Kompromisse sehen vor, dass der Höchstabstand entlang
35 überwiegender Teile der Innenkontur der Blende 2 mm, insbesondere 1 mm, bevorzugt 0,55 mm, beträgt und/oder dass ein Mindestabstand entlang der überwiegenden Teile der

Innenkontur der Blende nicht unterschritten wird, wobei dieser Mindestabstand vorteilhafterweise 0,1 mm, 0,25 mm oder 0,45 mm beträgt. Die überwiegenden Teile der Innenkontur der Blende können 70% der Fläche der Innenkontur oder mehr, 90% der Fläche der Innenkontur oder mehr oder sogar die gesamte Innenkontur umfassen.

- 5 Dass ein guter Kompromiss zwischen den genannten Anforderungen gefunden wurde, kann statt durch geometrische, auf die Blende und/oder auf die Laserstrahlung bezogene Maße alternativ auch in dem Anteil der durch die Blende durchtretenden Laserstrahlung zum Ausdruck kommen. So ist es günstig, wenn dieser Anteil zwischen 50% und 100%, insbesondere zwischen 70% und 95%, bevorzugt zwischen 85% und 93%, beträgt, wobei
10 der verbleibende Anteil durch die Blende insbesondere absorbiert und/oder diffus gestreut wird. Der verbleibende Anteil steht für eine Fokussierung des Laserstrahls insbesondere nicht mehr zur Verfügung.

- Sowohl durch die Vorsehung von Mindest- und/oder Höchstabständen in der beschriebenen Art, als auch durch weitere oben beschriebene Maßnahmen, insbesondere
15 der Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende, als auch durch die Vorsehung der beschriebenen Verhältnisse zwischen Austrittsquerschnitt und Länge der Blende und/oder durch Anpassung von Innenkontur der Blende zum Laserstrahl lässt sich jeweils für sich bereits eine gute Abschirmung des Brennraumfensters von in dem Brennraum herrschenden Bedingungen erzielen. Durch Zusammenwirken dieser
20 Maßnahmen lässt sich die abschirmende Wirkung nochmals erheblich steigern. Insgesamt lassen sich so Ablagerungen auf dem Brennraumfenster besonders wirkungsvoll vermindern und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze erheblich steigern.

- Auch mit den weiteren oben oder nachfolgend beschriebenen Maßnahmen, die eine Herabsetzung der Brennraumfenstertemperatur und/oder eine Minderung der Exposition
25 des Brennraumfensters mit Partikeln bewirken, insbesondere gezielte Wahl der Länge der Blende, gezielte Materialwahl und/oder Vorsehung von Kühlkanälen und/oder eines Spaltes in der beschriebenen Art und Weise, tritt die Vorsehung von Mindest- und/oder Höchstabständen in der beschriebenen Art in gegenseitige Wirkungsverstärkung, sodass insgesamt eine erhebliche Erhöhung der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze resultiert.

- 30 In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, dass zusätzlich oder alternativ zur gezielten Wahl der Länge der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer hohen Wärmeleitfähigkeit der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines dem Brennraumfenster brennraumseitig vorgelagerten, mit dem Inneren der Blende kommunizierenden Spaltes, dessen Höhe gezielt gering gewählt wird, und
35 zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende und zusätzlich oder alternativ zur Vorsehung einer Kante und/oder eines extremalen

Querschnitts der jeweils beschriebenen Art bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des
5 Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, wobei die Innenkontur der Blende die Form der Mantelfläche eines Kegelstumpfes aufweist, wobei der Kegelstumpf einen Öffnungswinkel φ aufweist, Fokussierungsmittel zur Festlegung eines
10 Strahldivergenzwinkel ψ der durch die Blende durchtretenden Laserstrahlung vorgesehen sind aufweist, wobei $0 \leq \varphi - \psi \leq 30^\circ$, insbesondere $0 < \varphi - \psi < 30^\circ$.

Die Strahlform der Laserstrahlung, insbesondere der Strahldivergenzwinkel, Strahllage, Strahlabmessungen und Abstände zwischen Strahl und Blende verstehen sich gemäß und/oder vor dem Hintergrund der Norm DIN EN ISO 11145. Bezüglich der Ausführung
15 und der Wirkung des Fokussierungsmittels gilt das voranstehend ausgeführte.

Durch das Merkmal, dass $0 \leq \varphi - \psi \leq 30^\circ$, insbesondere $0 < \varphi - \psi < 30^\circ$ resultiert die technische Wirkung, dass ein Austrittsquerschnitt der Blende relativ eng ist, sodass nur wenige Partikel in das Innere der Blende eintreten können, sich die Blende aber in ihrem dem Brennraumfenster zugewandten Teil relativ stark aufweitet, wodurch die flächenhafte
20 Ausdehnung der Innenkontur der Blende relativ groß ist. Die von der Laserstrahlung durchdrungene Fläche des Brennraumfensters ist, bedingt durch den geringeren Strahldivergenzwinkel ψ , hingegen relativ klein. Aus diesen Flächenverhältnissen resultiert insgesamt, dass sich die Mehrzahl der von vorneherein wenigen, in die Blende eingedrungenen Partikel, auf der Blende und nicht auf dem Brennraumfenster anlagern.
25 Die Ablagerungen auf dem Brennraumfenster sind somit vermindert und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze ist gesteigert.

Diese vorteilhafte Wirkung tritt besonders hervor, wenn die Innenkontur der Blende die Form der Mantelfläche eines geraden Kreiskegelstumpfes hat, wobei der gerade Kreiskegelstumpf den Öffnungswinkel φ aufweist, wobei $0 \leq \varphi - \psi \leq 30^\circ$, insbesondere $0 < \varphi - \psi < 30^\circ$. Ferner ist bevorzugt, dass der Öffnungswinkel φ 90° oder weniger, insbesondere 70° oder weniger, bevorzugt 60° oder weniger, aufweist und/oder dass der Öffnungswinkel φ 3° oder mehr, insbesondere 10° oder mehr, beträgt und oder $5^\circ \leq \varphi - \psi$, insbesondere $13^\circ \leq \varphi - \psi$ und/oder dass $\varphi - \psi \leq 20^\circ$, insbesondere $\varphi - \psi \leq 15^\circ$.

Sowohl durch die Wahl von $\varphi - \psi$ in der beschriebenen Art, als auch durch weitere oben
35 beschriebene Maßnahmen, insbesondere der Vorsehung eines kleinen Austrittsquerschnitts der Blende, als auch durch die Vorsehung der beschriebenen

Verhältnisse zwischen Austrittsquerschnitt und Länge der Blende und/oder durch Anpassung von Innenkontur der Blende zum Laserstrahl lässt jeweils für sich bereits eine gute Abschirmung des Brennraumfensters von in dem Brennraum herrschenden Bedingungen erzielen. Durch Zusammenwirken dieser Maßnahmen lässt sich die

5 abschirmende Wirkung nochmals erheblich steigern, sodass insgesamt eine erhebliche Verminderung von Ablagerungen und eine erhebliche Erhöhung der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze resultiert.

Auch mit weiteren, oben oder nachfolgend beschriebenen Maßnahmen, die eine Herabsetzung der Brennraumfenstertemperatur und/oder eine Minderung der Exposition

10 des Brennraumfensters mit Partikeln bewirken, insbesondere gezielte Wahl der Länge der Blende, gezielte Materialwahl und/oder Vorsehung von Kühlkanälen und/oder eines Spaltes in der beschriebenen Art und Weise, tritt die geeignete Wahl von $\varphi - \psi$ in der beschriebenen Art in gegenseitige Wirkungsverstärkung, sodass insgesamt eine erhebliche Verminderung von Ablagerungen und eine erhebliche Erhöhung der

15 Zuverlässigkeit der Laserzündkerze resultiert.

Vorteilhafte weitere Ausführungsformen der Erfindung, insbesondere Weiterbildungen der voranstehend erläuterten Ausführungsformen, betreffen Maßnahmen zur Führung der Strömung in einem der Blende vorgelagerten Bereich und/oder im Bereich der Blende und/oder in einem Bereich der Austrittsöffnung der Blende und/oder in der Blende. Diese

20 Maßnahmen können einerseits eine von der Laserzündkerze umfasste, insbesondere am brennraumseitigen Ende des Gehäuses angeordnete Vorkammer betreffen, hierbei insbesondere die gezielte Anordnung mindestens eines Überstromkanals der eine Fluidverbindung zwischen einem Innenraum der Vorkammer und einem die Vorkammer umgebenden Brennraum ermöglicht. Andererseits können auch in von der

25 Laserzündkerze nicht umfassten Vorrichtungen Maßnahmen zur Strömungsbeeinflussung in den genannten Bereichen vorgesehen werden, beispielsweise durch die Auslegung der Form des Brennraums oder des dem Brennraum zugehörigen Kolbens oder anderer Komponenten der Brennkraftmaschine.

Insbesondere vorteilhaft ist es, zusätzlich oder alternativ zu den voranstehend

30 ausgeführten Maßnahmen bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten

35 Laserstrahlung in eine am brennraumseitigen Ende des Gehäuses angeordnete Vorkammer aufweist, wobei mindestens ein eine Fluidverbindung zwischen einem

Innenraum der Vorkammer und einem die Vorkammer umgebenden Brennraum ermöglichenden Überströmkanal vorgesehen ist, dass der mindestens eine Überströmkanal so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal in den Innenraum der Vorkammer eine gewünschte Fluidströmung ergibt.

Zu diesem Zweck kann vorgesehen sein, dass der mindestens eine Überströmkanal einen Querschnitt aufweist, der nicht größer ist, insbesondere kleiner ist, als der Austrittsquerschnitt der Blende und/oder nicht größer ist, insbesondere kleiner ist, als ein minimaler Querschnitt der Blende. Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass der mindestens eine Überströmkanal einen Querschnitt $Q_{\dot{U}}$ aufweist, der nicht größer ist, insbesondere kleiner, als ein Höchstquerschnitt ist, wobei der Höchstquerschnitt 10 mm², 6 mm², 4 mm², 2 mm² oder 1 mm² betragen kann. Durch diese relativ kleinen Querschnitte kann die Richtung des in die Vorkammer einströmenden Fluids besonders gezielt beeinflusst werden. Es ist ferner zusätzlich oder alternativ zur gezielten Beeinflussung des in die Vorkammer einströmenden Fluids förderlich, wenn die Länge des mindestens einen Überstromkanals $L_{\dot{U}}$ hoch im Vergleich zu einem Querschnitt $Q_{\dot{U}}$ des mindestens einen Überstromkanals ist, insbesondere gemäß $L_{\dot{U}} > (Q_{\dot{U}}/\pi)^{1/2}$, $L_{\dot{U}} > (16*Q_{\dot{U}}/\pi)^{1/2}$ oder gemäß $L_{\dot{U}} > (36*Q_{\dot{U}}/\pi)^{1/2}$. Aus der gezielten Beeinflussung des in die Vorkammer einströmenden Fluids, insbesondere in einer der nachstehend ausgeführten Arten, resultiert eine Verminderung der Ablagerungen auf dem Brennraumfenster und somit eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze.

Hierbei kann unter der Blende insbesondere ein zwischen Vorkammer und Brennraumfenster liegender zylindrischer oder sich in Richtung Brennraum verjüngender Bereich der Laserzündkerze aufzufassen sein, während unter der Vorkammer insbesondere ein brennraumseitig der Blende angeordneten Bereich der Laserzündkerze aufzufassen sein kann, der insbesondere zumindest abschnittsweise einen gegenüber der gesamten Blende oder der Austrittsöffnung der Blende vergrößerten Querschnitt aufweist.

Insbesondere vorteilhaft ist bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in eine am brennraumseitigen Ende des Gehäuses angeordnete Vorkammer aufweist, wobei mindestens ein eine Fluidverbindung zwischen einem Innenraum der Vorkammer und einem die Vorkammer umgebenden Brennraum ermöglichender Überströmkanal vorgesehen ist, dass der mindestens eine

Überströmkanal so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal in den Innenraum der Vorkammer eine Fluidströmung ergibt, die unter einem endlichen Mindestwinkel, insbesondere gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze, in das Innere der Blende eintritt.

- 5 Daraus, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal in den Innenraum der Vorkammer eine Fluidströmung ergibt, die unter einem endlichen Mindestwinkel ε , insbesondere gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze, in das Innere der Blende eintritt, resultiert einerseits die Wirkung, dass das einströmende Fluid auf die Innenkontur der Blende gelenkt wird und sich im Fluid enthaltene Partikel dort
10 ablagern. Die Anzahl der Partikel, die das Brennraumfenster erreichen, lässt sich somit reduzieren, die Ablagerungen auf dem Brennraumfenster sind vermindert und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze ist gesteigert.

Die beschriebene Wirkung tritt bereits ein, wenn der Mindestwinkel ε 45° beträgt, noch günstigere Mindestwinkel ε betragen 60° oder 75° oder 85° , jeweils insbesondere
15 gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze. Alternativ ist die Messung des Mindestwinkels stets auch zu einer Senkrechten auf der Eintrittsfläche der Blende und/oder zu einer Senkrechten auf einer, dem Brennraum zugewandten Oberfläche des Brennraumfensters möglich. Um diese Strömung zu erzielen ist bevorzugt vorgesehen, dass der mindestens eine Überströmkanal so angeordnet ist, dass seine Längsachse in
20 radialer Richtung einen Winkel mit der Längsachse der Laserzündkerze einschließt, der weniger als etwa 25° beträgt, vorzugsweise weniger als etwa 10° . Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass mehrere Überströmkanäle vorgesehen sind. Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass zusätzliche Mittel vorgesehen sind, durch die ein Spülgas in die Vorkammer einblasbar ist, und diese Mittel insbesondere so
25 angeordnet sind und so betreibbar sind, dass zusammen mit dem durch die Überströmbohrung einströmenden Fluid eine resultierende Gesamtströmung resultiert, die unter dem Mindestwinkel, wie oben erläutert, in das Innere der Blende eintritt oder die zumindest weitgehend parallel zu einer Austrittsöffnung der Blende ist. Stets bevorzugt ist die Strömung innerhalb der Vorkammer als Tumble-Strömung ausgebildet.

- 30 Die oben erläuterte Wirkung der Vorsehung des Mindestwinkels ε wirkt bei einem gegebenen Mindestwinkel ε synergetisch mit einer besonders langen Blende und/oder mit einer besonders schlanken Blende, insbesondere einer Blende mit kleinem Austrittsquerschnitt Q_{BA} , durch den die Fluidströmung in das Innere der Blende eintritt, zusammen, da bei solchen Weiterbildungen die Innenkontur der Blende durch die
35 Fluidströmung besonders nah an ihrem brennraumseitigen Ende getroffen wird und sich Partikel bevorzugt dort an der Innenkontur der Blende ablagern. Bevorzugt ist, dass die

Innenkontur der Blende durch die Fluidströmung in einer dem Brennraum zugewandten Hälfte der Innenkontur der Blende getroffen wird. Noch günstiger ist ein Auftreffen der Fluidströmung in einem dem Brennraum zugewandten Endabschnitt dessen Länge in Längsrichtung der Innenkontur $1/n$ der Gesamtlänge der Innenkontur der Blende

- 5 ausmacht, wobei $n=3$, oder $n=4$ oder $n=5$ sein kann. Ein ähnlicher Sachverhalt kann auch dadurch zum Ausdruck kommen, dass der Mindestwinkel ε , die Länge der Blende L der Verhältniszahl n und der Austrittsquerschnitt der Blende Q_{BA} eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllen:

$$n^* \tan \varepsilon = L/(QA/\pi)^{1/2}; n = 2 \dots 5.$$

- 10 Auch mit den weiteren oben oder nachfolgend beschriebenen Maßnahmen, die eine Herabsetzung der Brennraumfenstertemperatur und/oder eine Minderung der Exposition des Brennraumfensters mit Partikeln bewirken, insbesondere gezielte Wahl der Länge der Blende, gezielte Materialwahl und/oder Vorsehung von Kühlkanälen und/oder eines Spaltes in der beschriebenen Art und Weise, tritt die Vorsehung eines Mindestwinkels in
- 15 der beschriebenen Art in gegenseitige Wirkungsverstärkung, sodass insgesamt eine erhebliche Verminderung von Ablagerungen und Erhöhung der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze resultiert.

- Insbesondere vorteilhaft ist bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von
- 20 Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in eine am brennraumseitigen Ende des Gehäuses angeordnete Vorkammer aufweist, wobei
- 25 mindestens ein eine Fluidverbindung zwischen einem Innenraum der Vorkammer und einem die Vorkammer umgebenden Brennraum ermöglichender Überströmkanal vorgesehen ist, dass der mindestens eine Überströmkanal so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal in den Innenraum der Vorkammer eine Fluidströmung ergibt, die im Bereich der Blende mindestens einen
- 30 Wirbel aufweist, der sich um eine Wirbelachse dreht, die eine Komponente in Richtung der Längsachse der Laserzündkerze aufweist.

- Unter dem Bereich der Blende ist hierbei insbesondere ein der Blende vorgelagerten Bereich und/oder ein Bereich der Austrittsöffnung der Blende aufzufassen. Unter Bereichen sind insbesondere räumliche Gebiete zu verstehen, die Strukturlängen
- 35 aufweisen, die etwas kleiner, beispielsweise halb so groß oder ein Viertel so groß sind wie eine Strukturlängen der Innenkontur der Blende, wobei die Strukturlänge insbesondere

durch Länge, Eintrittsdurchmesser und/oder Austrittsdurchmesser der Blende gegeben sein kann.

Aus einer derartigen Anordnung und Ausbildung des Überströmkanals oder der Strömungskanäle resultiert zunächst, dass die Fluidströmung im Bereich der Blende eine

5 Komponente in Richtung senkrecht zur Längsachse LA der Laserzündkerze aufweist. Ferner resultiert bedingt durch den Wirbel lokal eine Strömungsablenkung in eine zur lokalen Strömungsgeschwindigkeit senkrechte Richtung. Da die durch die Strömung transportierten Partikel eine endliche Trägheit aufweisen, folgen sie dieser

10 Strömungsablenkung nur bedingt und neigen, insbesondere bei scharfer Strömungsablenkung, dazu, auf die Innenkontur der Blende beziehungsweise auf eine Seitenwand der Vorkammer zu treffen. Insgesamt resultiert, dass die Menge der das Brennraumfenster erreichenden Partikel herabgesetzt ist, sodass Ablagerungen auf dem Brennraumfenster vermindert und die Zuverlässigkeit der Laserzündkerze erhöht ist.

Wenngleich die beschriebene technische Wirkung bereits resultiert, wenn die Wirbelachse

15 nur eine Komponente in Richtung der Längsachse der Laserzündkerze aufweist, ist bevorzugt, dass die Wirbelachse einen Winkel mit einer Längsachse der Laserzündkerze von höchstens 45° , insbesondere höchstens 20° , bevorzugt höchstens 10° , einschließt oder parallel, mit der Längsachse LA der Laserzündkerze ist. Im Fall, dass die Wirbelachse parallel mit der Längsachse LA der Laserzündkerze ist, ist neben der

20 koaxialen Anordnung auch eine beabstandete Anordnung von Wirbelachse und Längsachse LA der Laserzündkerze günstig, insbesondere wenn der Abstand zwischen Wirbelachse und Längsachse LA der Laserzündkerze mindestens 2 mm, insbesondere mindestens 4 mm beträgt. Als Höchstabstände kommen 6 und 10mm in Betracht. Ergebnis der Beabstandung ist eine Scherströmung senkrecht zur Austrittsöffnung der

25 Blende und das Auftreffen der Partikel auf der Innenkontur der Blende.

Die vorgesehene Anordnung des Überströmkanals kann insbesondere daraus resultieren, dass seine Längsachse in tangentialer Richtung einen Winkel mit der Längsachse der Laserzündkerze einschließt, der mehr als etwa 10° beträgt, vorzugsweise mehr als etwa 25° beträgt.

Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass zusätzliche Mittel vorgesehen sind, durch die ein Spülgas in die Vorkammer einblasbar ist, wobei die zusätzlichen Mittel so angeordnet sind und so betreibbar sind, dass zusammen mit dem durch die Überströmbohrung einströmenden Fluid eine resultierende Gesamtströmung resultiert, die einen Wirbel wie oben erläutert ausbildet. Stets ist bevorzugt, dass die Strömung

35 innerhalb der Vorkammer als Drallströmung ausgebildet ist.

Die oben erläuterte Wirkung der Vorsehung eines Wirbels wirkt bei einem gegebenen Wirbel synergetisch mit einer besonders langen Blende und/oder mit einer Blende mit einer besonders schlanken Geometrie, insbesondere einer Blende mit kleinem Austrittsquerschnitt Q_{BA} , durch den die Fluidströmung in das Innere der Blende eintritt, zusammen, da bei solchen Weiterbildungen die tangential weggeschleuderten Partikel die Innenkontur der Blende besonders nah an ihrem brennraumseitigen Ende treffen. Bevorzugt ist, dass die Innenkontur der Blende durch die tangential weggeschleuderten Partikel in einer dem Brennraum zugewandten Hälfte der Innenkontur der Blende getroffen wird. Noch günstiger ist ein Auftreffen der tangential weggeschleuderten Partikel in einer dem Brennraum zugewandten Endabschnitt dessen Länge in Längsrichtung der Innenkontur $1/n$ der Gesamtlänge der Innenkontur der Blende ausmacht, wobei $n=3$, oder $n=4$ oder $n=5$ sein kann.

Ein ähnlicher Sachverhalt kann auch dadurch zum Ausdruck kommen, dass der Höchstwinkel ν , den die Wirbelachse mit der Längsachse der Laserzündkerze ausbildet, die Länge der Blende L , die Verhältniszahl n und der Austrittsquerschnitt der Blende Q_{BA} eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllen:

$$n \cdot \tan \nu = L / (Q_{A} / \pi)^{1/2} ; n = 2 \dots 5.$$

Auch mit den weiteren oben oder nachfolgend beschriebenen Maßnahmen, die eine Herabsetzung der Brennraumfenstertemperatur und/oder eine Minderung der Exposition des Brennraumfensters mit Partikeln bewirken, insbesondere gezielte Wahl der Länge der Blende, gezielte Materialwahl und/oder Vorsehung von Kühlkanälen und/oder eines Spaltes in der beschriebenen Art und Weise tritt die Anordnung und Ausbildung eines Überströmkanals in der angegebenen Art und Weise in gegenseitige Wirkungsverstärkung, sodass insgesamt eine erhebliche Verminderung von Ablagerungen und eine erhebliche Erhöhung der Zuverlässigkeit der Laserzündkerze resultiert.

Insbesondere vorteilhaft ist bei einer Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine, umfassend mindestens ein Mittel zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung, ferner umfassend ein Brennraumfenster und ein Gehäuse, wobei das Gehäuse auf der dem Mittel gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters, insbesondere an einem brennraumseitigen Ende des Gehäuses, eine Blende zum Durchtritt der durch das Mittel geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, dass die Blende auf einer dem Brennraum zugewandten Seite zumindest eine Außenkante aufweist, deren Kontur gegenüber einer scharfkantigen Außenkante nach innen abweicht.

Bezüglich des Begriffs „Scharfkantigkeit“ wird auf die Norm DIN ISO 13715:2000 verwiesen. Insbesondere wird eine Außenkante als scharfkantig aufgefasst, wenn sie lediglich Abtragungen oder Übergänge aufweist, die 50µm oder weniger betragen.

Die Außenkante der Blende kann dabei insbesondere die Innenkontur der Blende
5 begrenzen. Die Außenkante der Blende kann andererseits aber insbesondere auch von der Innenkontur der Blende beabstandet sein, insbesondere eine radial außen liegende Begrenzung der Blende und/oder des Gehäuses an seinem brennraumseitigen Ende darstellen.

Der Vorsehung der Abweichung der Kontur der Außenkante nach innen liegt die
10 Erkenntnis zugrunde, dass Laserzündkerzen bei einem Betrieb in einer Brennkraftmaschine brennraumseitig den im Inneren des Brennraums herrschenden hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Durch thermische Kopplung der Laserzündkerze auf ihrer dem Brennraum abgewandten Seite erfolgt andererseits ein Abfluss von Wärme, sodass der Anstieg der Temperatur der Laserzündkerze begrenzt wird. Es wurde erkannt,
15 dass insbesondere aus brennraumseitig angeordneten scharfen Außenkanten im Bereich der Laserzündkerze der Wärmeabfluss verschlechtert ist und infolgedessen in diesen Bereichen besonders hohe Temperaturen auftreten, die zum Auftreten von Glühzündungen im Brennraum und damit zu einem verschlechterten Betrieb der Brennkraftmaschine führen können. Durch die Abweichung der Kontur der Außenkante
20 nach innen werden Bereiche derart hoher Temperaturanstiege vermieden und infolgedessen kann das Auftreten von Glühzündungen im Brennraum vermieden werden.

Wenngleich die beschriebene technische Wirkung bereits resultiert, wenn die Blende auf einer dem Brennraum zugewandten Seite zumindest eine Außenkante aufweist, deren Kontur gegenüber einer scharfkantigen Außenkante nach innen abweicht, ist bevorzugt,
25 dass die Außenkante aus einer scharfkantigen Außenkante durch eine Abtragung von mehr als 0,075 mm, insbesondere von 0,1 mm oder mehr, bevorzugt 0,15 mm oder mehr, hervorgeht. Als Obergrenze für die Abtragung kommen 5 mm, 2 mm und 0,5 mm in Betracht, da zu große Abtragungen die mechanische Stabilität der Blende beeinträchtigen könnten.

30 In bevorzugten Ausführungen ist vorgesehen, dass die Außenkante der Blende eine Verrundung und/oder eine Anfasung aufweist. Hierbei ist ferner bevorzugt, dass im Falle einer Verrundung der Verrundungsradius, im Falle einer Anfasung die Tiefe und/oder die Breite der Fase, 0,075 mm oder mehr, insbesondere 0,15 mm oder mehr aufweist. Hierbei ist zusätzlich oder alternativ bevorzugt, dass im Falle einer Verrundung der
35 Verrundungsradius, im Falle einer Anfasung die Tiefe und/oder die Breite der Fase, 5 mm oder weniger, insbesondere 2 mm oder weniger, bevorzugt 0,5 mm oder weniger, beträgt.

Fasenwinkel im Bereich zwischen 20° und 70° insbesondere im Bereich zwischen 40° und 50° sind bevorzugt.

Eine besondere Bedeutung kommt der Vorsehung der Abweichung der Kontur der Außenkante nach innen, insbesondere der Verrundung und/oder der Anfasung bei
5 Blenden zu, die eine große Länge aufweisen, da diese Blenden dem Brennraum gegenüber besonders exponiert sind und damit für eine übermäßige Temperaturerhöhung besonders anfällig sind. Besonders wirksam vermieden werden kann eine derartige übermäßige Temperaturerhöhung, wenn die Blende, zumindest im Bereich der Außenkante aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, insbesondere aus
10 Messing, Nickel und/oder Kupfer oder einer Legierung mindestens zwei dieser Stoffe, besteht.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Laserzündeinrichtung sieht vor, dass die Blende als separates Bauteil ausgebildet ist und an einem weiteren Teil des Gehäuses der Laserzündkerze, insbesondere an einem Absatz, befestigt ist. Es ist
15 bevorzugt, eine gute Ableitung von Wärme aus der Blende sicherzustellen, was dadurch geschehen kann, dass die Fügestelle zwischen Blende und einem weiteren Teil des Gehäuses gut wärmeleitend, insbesondere mittels einer großflächigen Lötung (mindestens 10 mm², insbesondere mindestens 20 mm²) und/oder unter Verzicht von Schweißverbindungen, zum Beispiel durch einen Pressverbund, ausgeführt ist. Alternativ
20 oder zusätzlich kann die Blende mit dem weiteren Teil des Gehäuses auch mit einem Gewinde verschraubt sein, wobei es bevorzugt ist, eine Verschraubung mittels eines Feingewindes (Gewindesteigung $\leq 0,5$ mm, insbesondere $\leq 0,3$ mm) vorzusehen.

Es ist grundsätzlich möglich, durch die Laserzündkerze einen Zündfunken im Inneren der Blende zu erzeugen. Jedoch ist die Erzeugung eines Zündfunken in einem der Blende
25 brennraumseitig vorgelagerten Bereich, insbesondere in einem Brennraum oder einer Vorkammer, eher vorteilhaft, da sich so Quenchingverluste bei der Entflammung vermeiden lassen. Bevorzugt wird hierbei ein Zündfunke mindestens 1 mm, bevorzugt mindestens 2 mm außerhalb der Blende erzeugt. Als Obergrenze für den Abstand zwischen Zündfunke und Austrittsfläche der Blende kommen zusätzlich oder alternativ
30 30 mm, 10 mm und 5 mm in Betracht, da sonst der Austrittsquerschnitt der Blende übermäßig groß gewählt werden müsste beziehungsweise eine ausreichende Fokussierung der Laserstrahlung erschwert wäre. Als Lage des Zündfunken kann insbesondere die Lage eines Fokusses der durch die Laserzündkerze erzeugten oder geformten Laserstrahlung angesehen werden.

35 Grundsätzlich ist im Rahmen der Erfindung als Spezialfall eines Brennraumes auch eine an der Laserzündkerze fixierte oder an der Laserzündkerze fixierbare Vorkammer mit

umfasst, insbesondere eine Vorkammer, deren Volumen weniger als 10 cm^3 aufweist und die mindestens einen Überstromkanal aufweist, dessen Querschnitt weniger als 5 mm^2 beträgt.

5 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

In der Zeichnung zeigt:

- Figur 1a eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einer Laserzündeinrichtung;
- 10 Figur 1b eine schematische Darstellung der Laserzündeinrichtung aus Figur 1 und Figuren 2 bis 21 Ausführungsformen erfindungsgemäßer Laserzündkerzen.

Ausführungsformen der Erfindung

Eine Brennkraftmaschine trägt in Figur 1a insgesamt das Bezugszeichen 10. Sie kann zum Antrieb eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs dienen. Die Brennkraftmaschine 10 umfasst mehrere Zylinder, von denen in Figur 1 nur einer mit dem Bezugszeichen 12 bezeichnet ist. Ein Brennraum 14 des Zylinders 12 wird von einem Kolben 16 begrenzt. Kraftstoff oder vorab gemischtes Kraftstoff-Luftgemisch gelangt in den Brennraum 14 durch einen Injektor 18, der an einen auch als Rail bezeichneten Kraftstoff-Druckspeicher 20 angeschlossen ist.

In den Brennraum 14 eingespritzter Kraftstoff 22 oder vorab gemischtes Kraftstoff-Luftgemisch wird mittels einer Laserstrahlung 24 entzündet, die von einer Laserzündkerze 100 umfassenden Zündeinrichtung 27 in den Brennraum 14 abgestrahlt wird. Hierzu wird die Laserzündkerze 100 über eine Lichtleitereinrichtung 28 mit einem Licht gespeist, bei welchem es sich insbesondere um Pumplicht handeln kann, welches von einer Lichtquelle 30 bereitgestellt wird. Auch die unmittelbare Bereitstellung von für die Zündung vorgesehenem Licht kann durch die Lichtquelle 30 vorgesehen sein. Die Lichtquelle 30 wird von einem Steuergerät 32 gesteuert, das auch den Injektor 18 ansteuert.

30 Wie aus Figur 1b hervorgeht, speist die Lichtquelle 30 mehrere Lichtleitereinrichtungen 28 für verschiedene Laserzündkerzen 100, die jeweils einem Zylinder 12 der Brennkraftmaschine 10 zugeordnet sind. Hierzu weist die Lichtquelle 30 mehrere einzelne Laserlichtquellen 340 auf, die mit einer Pulsstromversorgung 36 verbunden sind. Durch

das Vorhandensein der mehreren einzelnen Laserlichtquellen 340 ist gleichsam eine „ruhende“ Verteilung von Licht, insbesondere Pumplicht, an die verschiedenen Laserzündkerzen 100 realisiert, so dass keine optischen Verteiler oder dergleichen zwischen der Lichtquelle 30 und den Laserzündkerzen 100 erforderlich sind. Alternativ
5 kann die Lichtquelle 30 auch nur eine Laserlichtquelle 340 besitzen. Insbesondere ist jeder Laserzündkerze 100 genau eine Lichtquelle 30 und/oder genau eine Laserlichtquelle 340 zugeordnet.

Die Laserzündkerze 100 weist beispielsweise einen laseraktiven Festkörper 44 mit einer passiven Güteschaltung 46 auf, die zusammen mit einem Einkoppelspiegel 42 und einem
10 Auskoppelspiegel 48 einen optischen Resonator bildet. Optional können weitere optische Komponenten, insbesondere Linsen, beispielsweise zur Formung der der Laserzündkerze 100 zugeführten Strahlung oder zur Aufweitung von Strahlung, vorgesehen sein.

Unter Beaufschlagung mit von der Lichtquelle 30 erzeugtem Licht, insbesondere Pumplicht, erzeugt die Laserzündkerze 100 in an sich bekannter Weise Laserstrahlung
15 24, die durch eine Fokussieroptik 52 auf einen in dem Brennraum 14 (Figur 1a) befindlichen Zündpunkt ZP fokussiert ist. Die in dem Gehäuse 38 der Laserzündkerze 100 vorhandenen Komponenten sind durch ein Brennraumfenster 58 von dem Brennraum 14 getrennt.

In den Figuren 2 bis 21a ist das Detail X der Figur 1b, das dem Brennraum 14 zugewandte Ende 381 des Gehäuses 38 der Laserzündkerze 100, stark vergrößert im
20 Teillängsschnitt dargestellt. Aus dieser stark vergrößerten Darstellung wird deutlich, dass das Brennraumfenster 58 mit dem Gehäuse 38 dichtend verbunden ist. Die Abdichtung zwischen Gehäuse 38 und Brennraumfenster 58 kann im Bereich des Bezugszeichens 60 in Form einer stoffschlüssigen oder kraftschlüssigen Verbindung ausgebildet sein.

Das Gehäuse 38 kann, wie in diesen Beispielen, zweiteilig ausgebildet sein. Es umfasst eine Innenhülse 62 und eine Außenhülse 64. Die Außenhülse 64 weist an einem dem Brennraum 14 (siehe Figur 1a) zugewandten Ende einen Absatz 66 auf. Insbesondere bei der kraftschlüssigen Verbindung dient der Absatz 66 dazu, das Brennraumfenster 58 gegen die Innenhülse 62 zu pressen und dadurch die Dichtheit im Bereich der Verbindung
30 60 zu erhöhen. Auch Dichtmittel, beispielsweise Dichtringe, insbesondere Stahldichtringe, bevorzugt kupferbeschichtete Stahldichtringe, können zum Einsatz kommen und insbesondere hinsichtlich Wärmeausdehnungskompensation zwischen dem Fenstermaterial und dem umgebendem Material günstig sein.

In diesem Beispiel ist an der Außenhülse 64 ein Muttergewinde vorgesehen, welches mit
35 einem entsprechenden Bolzenschraubgewinde der Innenhülse 62 zusammenwirkt. Dieses

Gewinde, bestehend aus Muttergewinde und Bolzensgewinde, ist in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 68 gekennzeichnet. Durch das Verspannen von Außenhülse 64 und Innenhülse 62 entsteht zwischen dem Absatz 66 und dem Brennraumfenster 58 eine weitere Dichtfläche 72.

- 5 Grundsätzlich sind neben den in diesen Beispielen gezeigten Abdichtungsformen auch andere Abdichtungsformen des Brennraumfensters 58 möglich, zum Beispiel solche, bei denen, wie in der DE 102009000540 A1 beschrieben, eine stoffschlüssige Abdichtung zwischen dem Brennraumfenster und einem umgebenden Material vorgesehen ist.

Im Inneren des Gehäuses 38 befindet sich auf der dem Brennraum 14
10 gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters 58 eine Fokussieroptik 52 (siehe Figur 1a und 1b), welche die in der Laserzündkerze 100 erzeugte oder die in die Laserzündkerze 100 eingespeiste Laserstrahlung 24 auf den Zündpunkt ZP, der in diesem Beispiel dem Brennpunkt der Fokussieroptik 52 entspricht, fokussiert. An dem brennraumseitigen Ende 381 des Gehäuses 38 ist eine Blende 74 zum Durchtritt der
15 Laserstrahlung 24 in den Brennraum 14 vorgesehen.

Die in Figur 2 dargestellte Laserzündkerze 100 weist ein Gehäuse 38 auf, dessen brennraumseitig des Brennraumfensters 58 angeordneter Abschnitt hülsenförmig ausgeführt ist und eine erfindungsgemäße Blende 74 darstellt. Die Innenkontur 71 der Blende 74 weist beispielsweise die Form eines Zylindermantels auf, dessen Höhe der
20 Länge L der Blende 74 entspricht. Die Länge L wird dabei, beispielsweise ausgehend von dem Brennraumfenster 58, in Längsrichtung der Laserzündkerze gemessen und beträgt in diesem Beispiel 13 mm.

Es ist in diesem Beispiel ferner vorgesehen, dass die Blende 74 aus einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von $60 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ oder mehr oder sogar mit einer
25 Wärmeleitfähigkeit von $80 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ oder mehr, beispielsweise aus Messing, Nickel oder Kupfer oder einer zumindest einen dieser Stoffe aufweisenden Legierung besteht. Zu diesem Zweck ist in diesem Beispiel das gesamte Gehäuse 38 aus diesem Material gefertigt. Alternativ wäre es auch möglich, lediglich in dem Bereich des brennraumseitigen Endes 381 des Gehäuses 38 dieses Material vorzusehen. Auch die Vorsehung des Materials
30 lediglich im Inneren der Blende, umschlossen von anderem Material, dessen Wärmeleitfähigkeit geringer sein kann, zum Beispiel von einem hochlegierten Stahl, ist möglich. Eine solche Variante ist in der Figur 3 gezeigt und weist im Inneren der Blende 74 eine Einlage 80 auf, die zum Beispiel aus Kupfer besteht und durch die eine rasche Abführung von Wärme aus dem Bereich der Blende 74 in einen weiter von dem
35 Brennraum 14 abgewandten Bereich des Gehäuses 38 möglich ist. In einer weiteren Alternative sind an Stelle der Einlage 80 Kühlkanäle 81 im Inneren der Blende 74

vorgesehen, wie in Figur 4 gezeigt. Durch diese Kühlkanäle 81 kann Wärme aus dem Bereich der Blende 74 in einen weiter von dem Brennraum 14 abgewandten Bereich des Gehäuses 38, beispielweise durch Zirkulation von Wasser oder einem anderen Kühlmedium, abgeführt werden.

- 5 In Figur 5 ist ein Beispiel einer Laserzündkerze gezeigt, das sich von den bisher dargestellten dadurch unterscheidet, dass dem Brennraumfenster 58 brennraumseitig vorgelagert ein Spalt 82 angeordnet ist. Der Spalt 82 wird in diesem Beispiel axial auf der dem Brennraum 14 zugewandten Seite durch die Blende 74, auf der dem Brennraum 14 abgewandten Seite durch das Brennraumfenster 58 und nach außen durch die Blende 74
10 begrenzt. Nach innen kommuniziert der Spalt 82 über das Innere der Blende 74 mit einem vor der Blende 74 liegenden Bereich, zum Beispiel einem Brennraum 14. Der Spalt 82 hat in diesem Beispiel die Grundfläche eines Ringes der einen Außendurchmesser D_{SA} von 15 mm und einen Innendurchmesser D_{SI} von 6 mm aufweist, sodass der Spaltquerschnitt Q_S 148 mm² beträgt. Der Spaltquerschnitt Q_S beträgt somit ein Vielfaches des
15 Eintrittsquerschnitts Q_{BE} , der 28 mm² beträgt, bei einem Eintrittsdurchmesser D_{BE} der Blende 74 von 6 mm. Die Höhe H_S des Spaltes 82 beträgt in diesem Beispiel 0,15 mm.

In einem anderen Beispiel, das insbesondere für Laserzündkerzen relevant ist, die für den Einsatz in Brennkraftmaschinen vorgesehen sind, deren Schmierung von niedrig additivierten Ölen Gebrauch macht, bzw. deren Schmierung von nicht additivierten Ölen
20 Gebrauch macht, beträgt die Höhe des Spaltes 2 mm und der Spaltquerschnitt Q_S beträgt lediglich 20% des Eintrittsquerschnitts Q_{BE} der Blende 74, nämlich 0,56 mm².

Figur 6 zeigt ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100, wobei die Blende 74 einen kleinen Austrittsquerschnitt Q_{BA} aufweist, der in diesem Beispiel 3 mm² beträgt, bei einem Austrittsdurchmesser D_{BA} der Blende von 2 mm. Die Länge L , der Blende 74 beträgt in
25 diesem Beispiel 12 mm, sodass sich für den Quotienten $L/(4Q_{BA}/\pi)^{1/2}$ der Wert 6 ergibt. Dieser Austrittsquerschnitt Q_{BA} und diese Länge L der Blende 74 kommen, wo es nicht explizit anders angegeben ist, auch in den anderen Ausführungsformen und Beispielen der Erfindung einzeln oder in Kombination miteinander in Betracht.

In den Figuren 7 bis 10 ist jeweils ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze dargestellt,
30 das sich von den oben dargestellten dadurch unterscheidet, dass die Innenkontur der Blende 74 in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum zugewandten Ende der Blende 74 als auch von dem dem Brennraum abgewandten Ende der Blende 74 beabstandet ist, zumindest eine Kante 83, insbesondere eine Vielzahl von Kanten 83, aufweist. Die in der Figur 7 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 auf, die
35 in einem mittigen Bereich zwei Kanten 83, eine Innenkante und eine Außenkante aufweist, die zusammen eine rechtwinklig ausgebildete Stufe 84 bilden. In Figur 8 ist eine

Laserzündkerze 100 dargestellt, die eine Vielzahl von Kanten 83 und aus ihnen gebildeten rechtwinkligen Stufen 84 aufweist, wobei die tatsächlich abgebildete Zahl von Stufen 84 stellvertretend beispielsweise auch für 3, 7 oder 8 Stufen aufzufassen ist, die insbesondere in einem mittigen Bereich der Blende 74 angeordnet sind. Auch nicht
5 rechtwinklige Stufen 84 sind möglich. Neben den oben gezeigten Stufen 84, an denen sich die Blende 74 in Richtung ihres dem Brennraum 14 zugewandten Endes verjüngt, sind auch Stufen 84 möglich, an der sich die Blende 74 in Richtung ihres dem Brennraum 14 abgewandten Endes verjüngt. In Figur 9 ist ein Beispiel gezeigt, bei dem derartige Stufen 84, an denen sich die Blende 74 in Richtung ihres dem Brennraum 14
10 zugewandten Endes verjüngt, brennraumseitig vorgelagert sind.

Figur 10 zeigt ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100 mit einer Blende 74, deren Innenkontur 71 eine umlaufe Kante 83 aufweist.

In den Figuren 11 bis 15 ist jeweils ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100 dargestellt, die eine Blende 74 aufweist, mit der Besonderheit, dass die Innenkontur 71
15 der Blende 74 in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum 14 zugewandten Ende der Blende 74 als auch von dem dem Brennraum 14 abgewandten Ende der Blende 74 beabstandet ist, einen extremalen Querschnitt Q_x aufweist.

Die in der Figur 11 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 auf, die in einem mittigen Bereich eine scharfkantige Einschnürung 85 aufweist. Im Bereich der
20 Einschnürung 85 ist der Durchmesser D_x und damit der Querschnitt der Blende Q_x minimal, nämlich etwa halb oder viertel so groß wie jeweils der Eintritts- und der Austrittsquerschnitt Q_{BE} , Q_{BA} der Blende. Oberhalb und unterhalb der scharfkantigen Einschnürung 85 weist die Innenkontur 71 der Blende 74 in diesem Beispiel jeweils die Form von geraden Kreiskegelstumpfmänteln auf. Alternativ ist es auch möglich, eine
25 Einschnürung 85 abgerundet auszuführen, siehe Figur 12.

Die in der Figur 13 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 auf, die in einem mittigen Bereich eine scharfkantige Ausbauchung 86 aufweist. Im Bereich der Ausbauchung 86 ist der Durchmesser D_x und damit der Querschnitt der Blende Q_x maximal, nämlich etwa doppelt bis vier mal so groß wie jeweils der Eintritts- und der
30 Austrittsquerschnitt Q_{BE} , Q_{BA} der Blende. Oberhalb und unterhalb der scharfkantigen Ausbauchung 86 weist die Innenkontur 71 der Blende 74 in diesem Beispiel jeweils die Form von geraden Kreiskegelstumpfmänteln auf. Alternativ ist es auch möglich, eine Ausbauchung 86 abgerundet auszuführen, siehe Figur 14. Figur 15 zeigt eine weitere Variante, bei der die Blende 74 einen Freistich 87 aufweist. Der Freistich ist in diesem
35 Beispiel als Innenfreistich und rechtwinklig ausgeführt und weist einen maximalen

Querschnitt der Blende Q_x auf, der etwa doppelt bis viermal so groß ist wie jeweils der Eintritts- und der Austrittsquerschnitt Q_{BE} , Q_{BA} der Blende.

In den Figuren 16 und 17 ist jeweils ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100 dargestellt, die eine Blende 74 aufweist, mit der Besonderheit, dass die Blende 74 auf der dem Brennraum 14 zugewandten Seite zumindest eine Außenkante 88 aufweist, deren Kontur gegenüber einer scharfkantigen Außenkante nach innen abweicht. Die in Figur 16 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 mit einer hülsenförmigen Grundform auf, wobei die innere brennraumseitig liegende Kante 89 der Hülse eine Verrundung 91 aufweist. Der Verrundungsradius beträgt in diesem Beispiel 0,5 mm. Auch die Verrundung 91 der äußeren brennraumseitig liegenden Kante 90 der Hülse ist zusätzlich oder alternativ, beispielsweise mit einem Verrundungsradius der 0,5 mm beträgt, möglich. Auch kleine und/oder größere Verrundungsradien sind prinzipiell möglich. Die in Figur 17 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 mit einer hülsenförmigen Grundform auf, wobei die innere brennraumseitig liegende Kante 89 der Hülse eine Anfasung 92 aufweist. Die Anfasung 92 (Länge und Breite) beträgt in diesem Beispiel 0,5 mm, der Fasenwinkel beträgt 45° . Auch die Anfasung 92 der äußeren brennraumseitig liegenden Kante 90 der Hülse ist zusätzlich oder alternativ, beispielsweise mit einer Länge und Breite von jeweils 0,5 mm, möglich. Auch kleine und/oder größere Anfasungen 92 sind prinzipiell möglich. Selbstverständlich sind neben den in Figur 16 und 17 gezeigten Außenkanten 88, weitere Außenkanten 88 ausführbar, deren Kontur gegenüber einer scharfkantigen Außenkante nach innen abweicht, zum Beispiel Außenkanten mit einer exakt oder näherungsweise elliptischen, parabolischen oder hyperbolischen Form oder mit einer unregelmäßigen Form. Auch Kombinationen von Anfasungen 92 und Verrundungen 91 sind denkbar.

In den Figuren 18 und 19 ist jeweils ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100 dargestellt, die eine Blende 74 aufweist und die Fokussierungsmittel 53, insbesondere eine Fokussieroptik 52, zur Festlegung einer Strahlform der durch die Blende 74 durchtretenden Laserstrahlung 24 aufweist (siehe Figur 1B). Die in diesen Beispielen vorgeschlagenen Laserzündkerzen 100 weisen die Besonderheit auf, dass die Form der Blende 74 hinsichtlich der Form der durch sie hindurchtretenden Laserstrahlung 24 vorteilhaft gewählt ist. Die Form der Laserstrahlung 24 ist in diesen Figuren durch die kegelförmigen Hülllinien 99 angedeutet, die sich näherungsweise im Zündpunkt ZP schneiden. Die Form der Laserstrahlung 24 betreffende Angaben verstehen sich im Rahmen dieser Erfindung gemäß oder vor dem Hintergrund der Norm DIN EN ISO 11145.

Die in der Figur 18 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 auf, die entlang ihrer gesamten Innenkontur 71 einen Abstand A zu der durch sie hindurchtretenden

Laserstrahlung 24 von ca. 0,5 mm aufweist. Die dargestellte Laserzündkerze 100 hat überdies die Eigenschaft, dass 88% der durch das Brennraumfenster 58 transmittierten Laserstrahlung 24 durch die Blende 58 als fokussierbare Laserstrahlung 24 hindurchtritt, während die übrige Laserstrahlung 24 entlang der Innenkontur 71 der Blende 74 eine Ablenkung oder Absorption erfährt und für eine Fokussierung nicht zur Verfügung steht.

Die in der Figur 19 dargestellte Laserzündkerze 100 weist eine Blende 74 auf, deren Innenkontur 71 die Gestalt eines geraden Kreiskegelstumpfes hat, dessen Öffnungswinkel ϕ 45° beträgt. Die durch die Blende hindurchtretende Laserstrahlung 24 ist in diesem Beispiel derart fokussiert, dass der Strahldivergenzwinkel ψ (Fernfelddivergenz) 30° beträgt.

In den Figuren 20 und 21 ist jeweils ein Beispiel einer Laserzündkerze 100 dargestellt, die eine Blende 74 zum Durchtritt von Laserstrahlung 24 in eine am brennraumseitigen Ende des Gehäuses 38 angeordnete Vorkammer 110 aufweist. Für die Fluidverbindung zwischen dem Innenraum 111 der Vorkammer 110 und dem Brennraum ist ein Überströmkanal 120 vorgesehen.

Bei dem in Figur 20 dargestellten Beispiel ist die Längsachse KLA des Überströmkanals 120 bezüglich der Längsachse LA der Laserzündkerze 100 außermittig, versetzt angeordnet. Die Längsachse KLA der Überströmbohrung 120 und die Längsachse LA der Laserzündkerze 100 sind in diesem Beispiel parallel zueinander, alternativ können sie auch in radialer und/oder in tangentialer Richtung unter einem Winkel zueinander angeordnet sein. Bei einem Einströmen von einem Fluid F bildet sich innerhalb der Vorkammer 110 ein Wirbel so aus, dass die Fluidströmung entlang der Austrittsöffnung der Blende 74 weitgehend parallel zu der Austrittsöffnung der Blende 74 verläuft. Dennoch in das Innere der Blende 74 eintretendes Fluid tritt demzufolge unter einem Winkel ϵ in die Blende 74 ein, der gemessen zur Längsachse LA der Laserzündkerze fast 90° , insbesondere stets mindestens 75° beträgt. Die sich im Inneren der Blende 74 ausbildende Fluidströmung stellt insbesondere eine Tumble-Strömung dar. In diesem Beispiel beträgt die Länge L der Blende 5 mm und der Austrittsdurchmesser D_{AE} der Blende beträgt 6 mm. Es ist somit durch die Zusammenwirkung des Winkels ϵ , unter dem das Fluid F in das Innere der Blende 74 eintritt, der Länge L und dem Austrittsdurchmesser D_{AE} der Blende in diesem Beispiel gegeben, dass die Fluidströmung F das Brennraumfenster 58 nicht unmittelbar, sondern erst nach Umlenkungen an der Innenkontur 71 der Blende 74 trifft.

Weitere Ausführungen von Laserzündkerzen 100 mit Vorkammern 110 deren ein Überströmkanal 120 so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal 120 in den Innenraum 111 der Vorkammer 110 eine

Fluidströmung F ergibt, die unter einem Mindestwinkel ϵ , insbesondere gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze, von 45° , 60° oder 75° in das Innere der Blende 74 eintritt, sind möglich und sehen insbesondere vor, dass mehrere Überströmkanäle 120 vorgesehen sind. Zusätzlich oder alternativ ist auch möglich, dass zusätzliche Mittel (nicht gezeichnet) vorgesehen sind, durch die ein Spülgas in die Vorkammer einblasbar ist. Es ist insbesondere vorgesehen, dass diese Mittel zum Einblasen von Spülgas zusammen mit dem Überstromkanal 120 in einer Weise zusammenwirken, dass sich insgesamt eine Fluidströmung ausbildet, derart dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal 120 in den Innenraum 111 der Vorkammer 110 eine Fluidströmung F ergibt, die unter einem Mindestwinkel ϵ , insbesondere gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze, von 45° , 60° oder 75° in das Innere der Blende 74 eintritt.

Figur 21 zeigt ein weiteres Beispiel einer Laserzündkerze 100, im Teil a als Teillängsschnitt entlang der Längsachse LA der Laserzündkerze 100, im Teil b in Aufsicht in Richtung B im Teil a und im Teil c in einem Schnitt entlang der Linie CC in Teil b der Figur 21. Diese Laserzündkerze 100 weist für die Fluidverbindung zwischen dem Innenraum 111 der Vorkammer 110 und dem Brennraum fünf Überströmkanäle 120 auf, die um jeweils 72° versetzt zueinander, symmetrisch angeordnet sind. Die Längsachsen KLA der Überströmbohrungen 120 sind sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung geneigt, derart dass die Längsachsen KLA der Überströmbohrungen 120 in Aufsicht auf die Laserzündkerze (Figur 21b) ein regelmäßiges Fünfeck bilden. Aufgrund der Anordnung und der Orientierung der Überströmbohrungen 120 bildet sich beim Einströmen eines Fluids F in die Vorkammer 110 ein Wirbel aus, dessen Wirbelachse WB im Inneren der Vorkammer 110 und im Bereich der Blende 74 mit der Längsachse LA der Laserzündkerze 100 zusammenfällt. Aus den Strömungsverhältnissen im Bereich der Blende 74 resultiert, dass insbesondere schwere Partikel, die die Strömung im Bereich eines Wirbels, tangential verlassen, die Innenkontur 71 der Blende 74 treffen und nicht zum Brennraumfenster 58 vordringen.

Die sich im Inneren der Blende 74 ausbildende Fluidströmung stellt insbesondere eine Drallströmung dar. In diesem Beispiel beträgt die Länge L der Blende 5 mm und der Austrittsdurchmesser D_{BE} der Blende beträgt 6 mm. Es ist somit durch die Zusammenwirkung des Winkels ν , unter dem die Wirbelachse WB gegen die Längsachse LA der Laserzündkerze verkippt ist (hier: 0°), der Länge L und dem Austrittsdurchmesser D_{AE} der Blende 74 in diesem Beispiel gegeben, dass die besagten Partikel das Brennraumfenster 58 nicht treffen, wenn sie die Strömung in tangentialer Richtung verlassen. Auch für $\tan \nu \leq L / D_{BE}$ ist diese Wirkung zumindest zum Teil gegeben, insbesondere für $n \cdot \tan \nu \leq L / D_{BE}$; $n=2, 3, 4$.

Es ist ferner möglich, dass zusätzliche Mittel (nicht gezeichnet) vorgesehen sind, durch die ein Spülgas in die Vorkammer 110 einblasbar ist. Es ist insbesondere vorgesehen, dass diese Mittel zum Einblasen von Spülgas zusammen mit einem Überstromkanal 120 oder mehreren Überströmkanälen 120 in einer Weise zusammenwirken, dass sich
5 insgesamt eine Fluidströmung ausbildet, derart dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal 120 oder die Überströmkanäle in den Innenraum 111 der Vorkammer 110 eine Fluidströmung ergibt, die einen Wirbel aufweist, der sich um eine Wirbelachse WB dreht, die eine Komponente in Richtung der Längsachse LA der Laserzündkerze 100 aufweist, insbesondere parallel oder coaxial zu der Längsachse LA
10 der Laserzündkerze 100 ist.

Wenngleich für die in den Figuren 2 bis 21 gezeigten Blenden 74 einerseits, wie gezeichnet, eine achssymmetrische Form bevorzugt ist, können auch Abweichungen von einer Achssymmetrie vorteilhaft vorgesehen sein.

Die Erfindung ist nicht auf die voranstehenden und/oder auf die explizit erläuterten und/oder in den Figuren explizit dargestellten Ausführungen und Beispielen beschränkt,
15 sondern weitere Ausführungen und Beispiele sind durch Kombinationen der zu den einzelnen Ausführungen und Beispielen erläuterten Merkmale in einer für den Fachmann nacharbeitbaren Weise gegeben. Von diesen Kombinationen sind insbesondere jene von Bedeutung, deren vorteilhafte Wirkung vorangehend bereits explizit betont wurde.

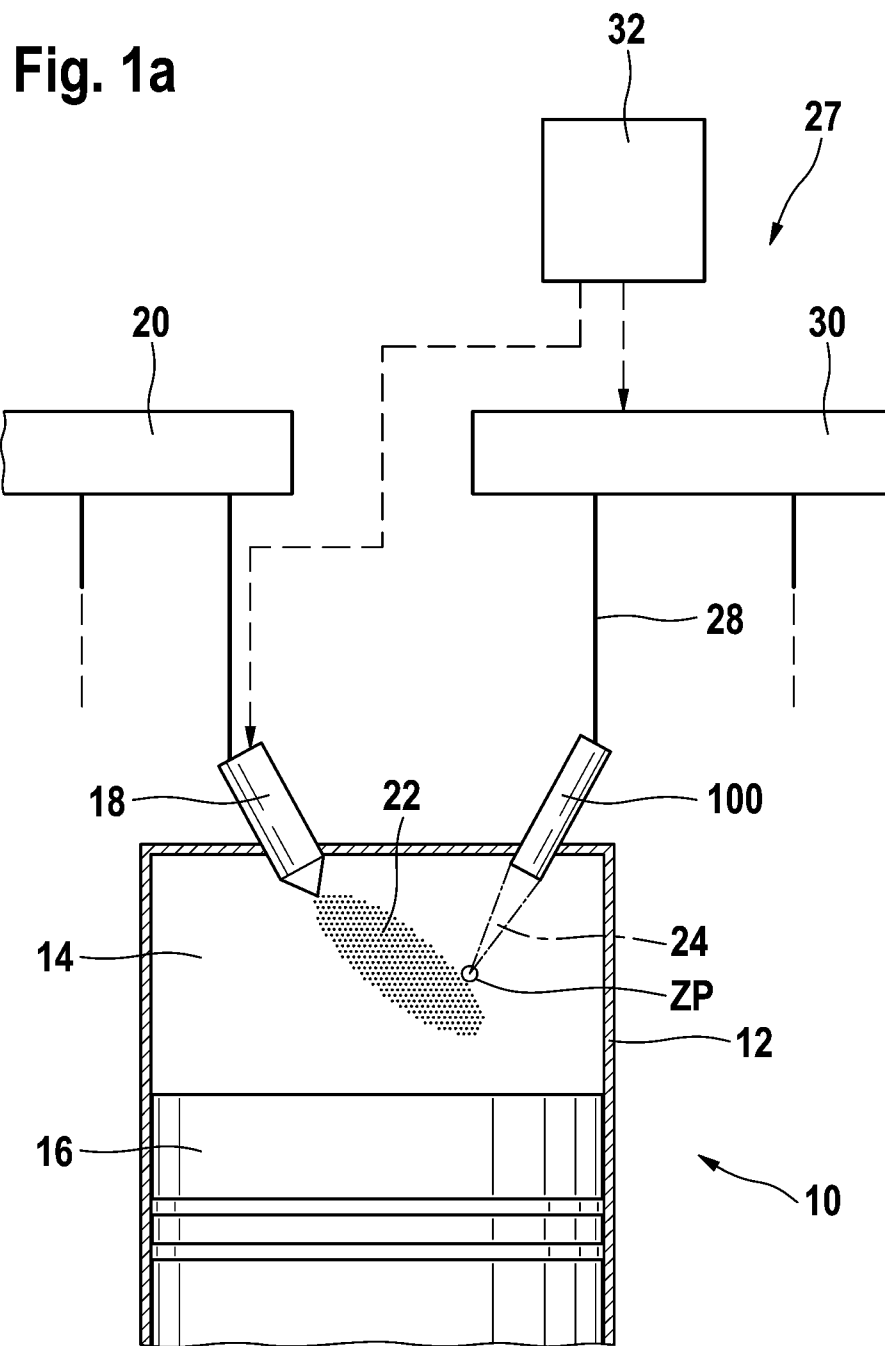
Insbesondere sind auch Ausführungsformen vorteilhaft und für den Fachmann
20 nacharbeitbar, die auf einem Zusammenwirken von jeweils einem oder, sofern sie einander nicht ausschließen, mehreren, der vorangehend offenbarten Merkmalen aus zwei oder mehr als zwei der folgenden Merkmalsgruppen basieren: Vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete Längen L der Blende 74, vorangehend als vorteilhaft
25 gekennzeichneten Auswahlen des Materials der Blende 74, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete Ausgestaltungen eines dem Brennraumfenster 58 brennraumseitig vorgelagerten Spalts 82, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichneten Querschnitte der Blende 74, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete Verhältnisse zwischen Längen L und Querschnittsflächen Q der Blende 74, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete
30 Merkmale der Innenkontur 71 der Blende 74, insbesondere Kanten 83 und extremale Querschnitte der Blende 74, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete Merkmale, die eine vorteilhafte Gestaltung der Form der Blende 74 hinsichtlich der Form der durch sie hindurchtretenden Laserstrahlung 24 betreffen, vorangehend als vorteilhaft
35 gekennzeichnete Merkmale, die die Gestaltung einer Außenkante 88 der Blende 74 betreffen, vorangehend als vorteilhaft gekennzeichnete Merkmale, die die Gestaltung einer Vorkammer 110, insbesondere eines Überstromkanals 120, betreffen.

Ansprüche

- 5 1. Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine (10) umfassend mindestens ein Mittel (26) zur Führung, Formung und/oder zur Erzeugung von Laserstrahlung (24), ferner umfassend ein Brennraumfenster (58) und ein Gehäuse (38), dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (38) auf der dem Mittel (26) gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters (58), insbesondere an einem brennraumseitigen Ende (381) des Gehäuses, eine Blende (74) zum Durchtritt der durch das Mittel (26) geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung in einen Brennraum aufweist, wobei die Blende (74) auf ihrer von dem Brennraumfenster (58) abgewandten Seite einen Austrittsquerschnitt (Q_{BA}) von 78mm² oder weniger, insbesondere von 19 mm² oder weniger, aufweist.
- 10
- 15 2. Laserzündkerze nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Öffnungsquerschnitt der Blende (74) 7 mm² oder weniger, insbesondere 3 mm² oder weniger beträgt.
3. Laserzündkerze nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Öffnungsquerschnitt der Blende (74) 0,05°mm² oder mehr, insbesondere 0,4°mm² oder mehr, bevorzugt 1°mm² oder mehr beträgt.
- 20
4. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge (L) der Blende (74) 4 mm oder mehr, insbesondere 12 mm oder mehr beträgt.
5. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur (71) der Blende (74) in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum (14) zugewandten Ende der Blende (74) als auch von dem dem Brennraum (14) abgewandten Ende der Blende (74) beabstandet ist, zumindest eine Kante (83) aufweist.
- 25
6. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur (71) der Blende (74) in einem Bereich, der sowohl von dem dem Brennraum (14) zugewandten Ende der Blende (74) als auch von dem dem Brennraum (14) abgewandten Ende der Blende (74) beabstandet ist, einen extremalen Querschnitt (Q_x) aufweist.
- 30

7. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Blende L beträgt und der Austrittsquerschnitt der Blende Q_{BA} beträgt, wobei dass $1 < L/(4 Q_{BA} / \pi)^{1/2} \leq 10$ ist.
- 5 8. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Blende L beträgt und der Austrittsquerschnitt der Blende Q_{BA} beträgt, wobei dass $2 < L/(4 Q_{BA} / \pi)^{1/2}$ ist.
- 10 9. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (74) auf einer dem Brennraum (14) zugewandten Seite zumindest eine Außenkante (88) aufweist, deren Kontur gegenüber einer scharfkantigen Außenkante nach innen abweicht, insbesondere eine Verrundung (91) oder eine Anfasung (92) aufweist.
- 15 10. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (A) zwischen Blende (74) und Laserstrahlung (24) zumindest entlang überwiegenden Teilen der Innenkontur (71) der Blende (74) 4 mm nicht überschreitet.
- 20 11. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenkontur (71) der Blende (74) die Form der Mantelfläche eines Kegelstumpfes aufweist, wobei der Kegelstumpf einen Öffnungswinkel φ aufweist und wobei der Strahldivergenzwinkel der durch die Blende (74) durchtretenden Laserstrahlung (24) ψ beträgt, wobei $0 < \varphi - \psi < 30^\circ$.
- 25 12. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Gehäuse (38) auf der dem Mittel (26) gegenüberliegenden Seite des Brennraumfensters (58) eine Blende (74) zum Durchtritt der durch das Mittel (26) geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung (24) in eine am brennraumseitigen Ende (381) des Gehäuses (38) angeordnete Vorkammer (110) aufweist, wobei mindestens eine Fluidverbindung zwischen einem Innenraum (111) der Vorkammer (110) und einem die Vorkammer (110) umgebenden Brennraum ermöglichender Überströmkanal (120) vorgesehen ist, wobei der mindestens eine Überströmkanal (120) so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim
30 Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal (120) in den Innenraum (111) der Vorkammer (110) eine Fluidströmung (F) ergibt, die unter einem Mindestwinkel ε , insbesondere gemessen zur Längsachse der Laserzündkerze, von 45° in das Innere der Blende (74) eintritt.
- 35 13. Laserzündkerze nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Gehäuse (38) auf der dem Mittel (26) gegenüberliegenden

Seite des Brennraumfensters (58) eine Blende (74) zum Durchtritt der durch das Mittel (26) geführten, geformten und/oder erzeugten Laserstrahlung (24) in eine am brennraumseitigen Ende (381) des Gehäuses (38) angeordnete Vorkammer (110) aufweist, wobei mindestens eine Fluidverbindung zwischen einem Innenraum (111) 5 der Vorkammer (110) und einem die Vorkammer (110) umgebenden Brennraum ermöglichender Überströmkanal (120) vorgesehen ist, wobei der mindestens eine Überströmkanal (120) so angeordnet und ausgebildet ist, dass sich beim Einströmen eines Fluids durch den Überströmkanal (120) in den Innenraum (111) 10 der Vorkammer (110) eine Fluidströmung (F) ergibt, die im Bereich der Blende (74) mindestens einen Wirbel aufweist, der sich um eine Wirbelachse (WB) dreht, die eine Komponente in Richtung der Längsachse (LA) der Laserzündkerze (100) aufweist.



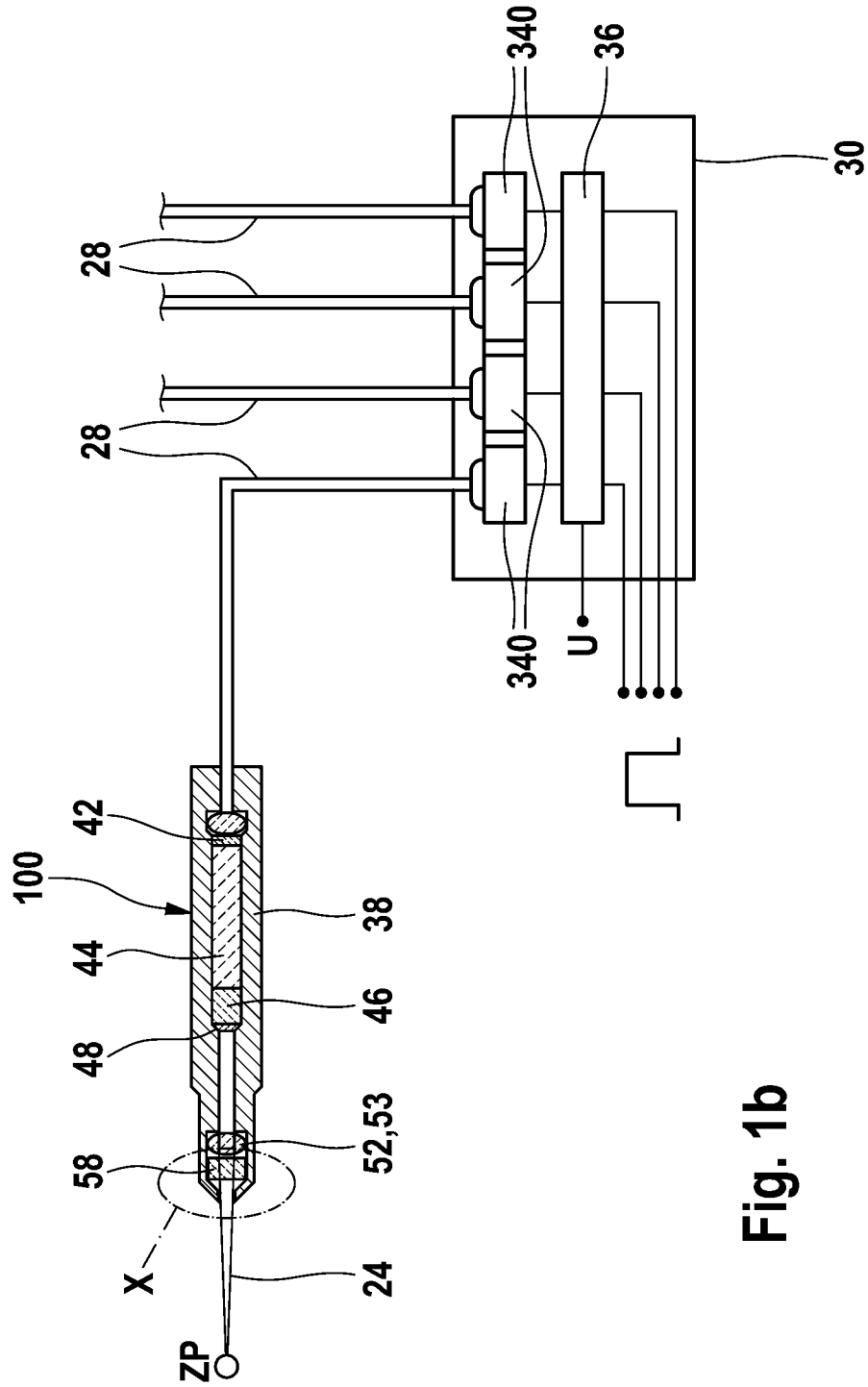


Fig. 1b

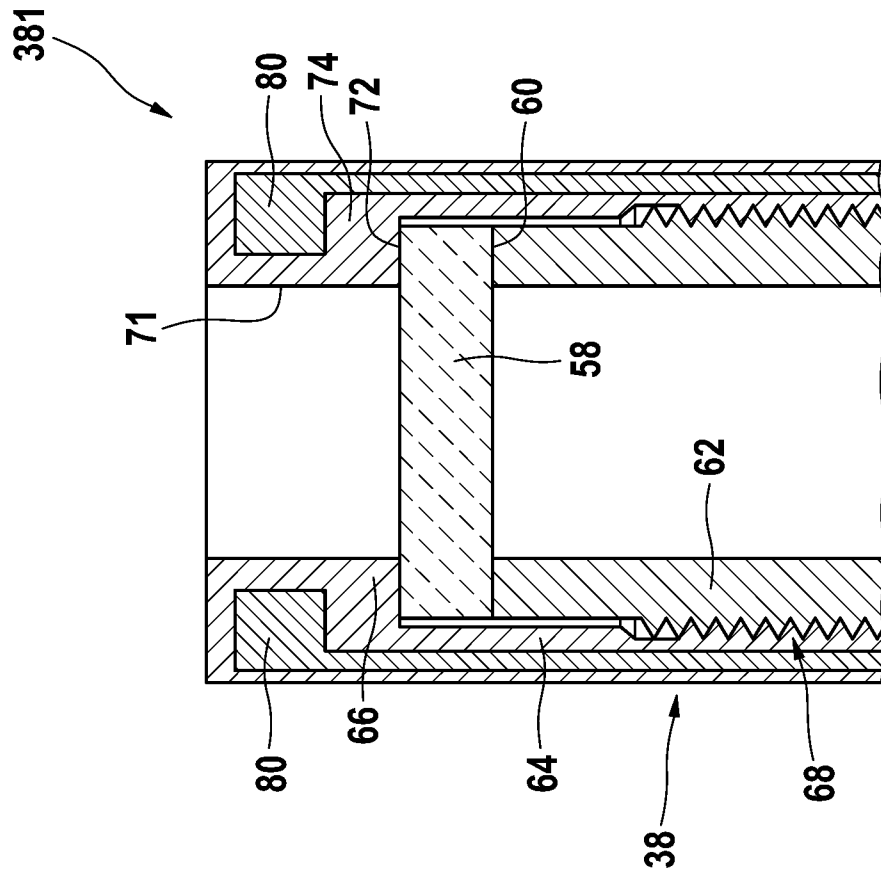


Fig. 3

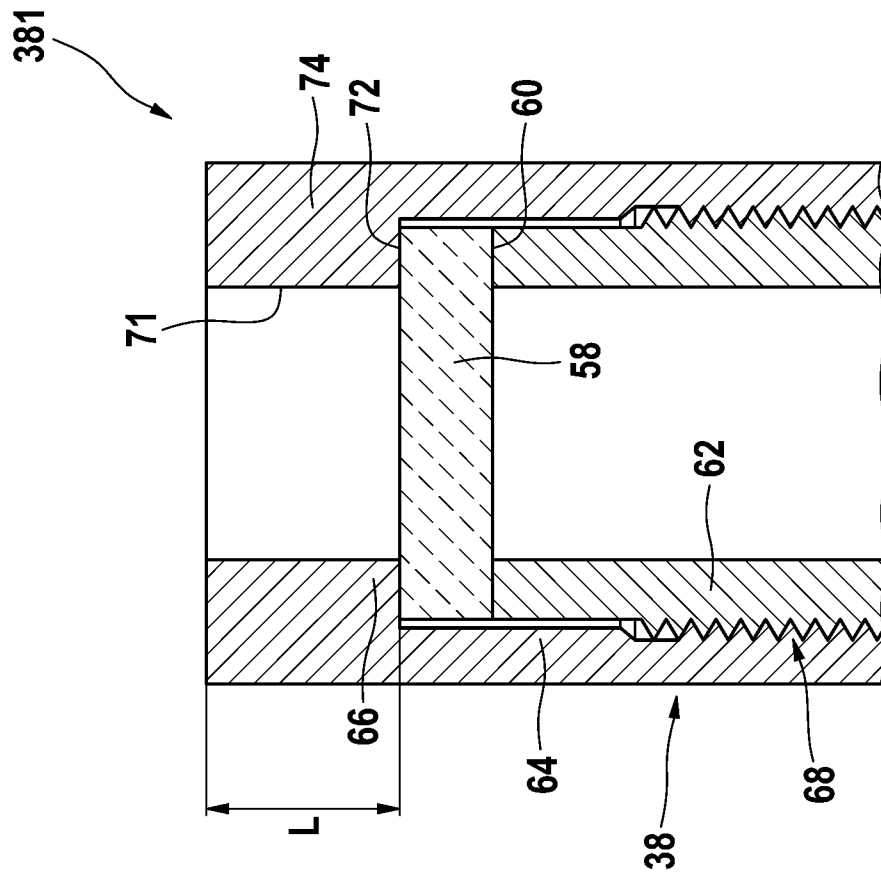


Fig. 2

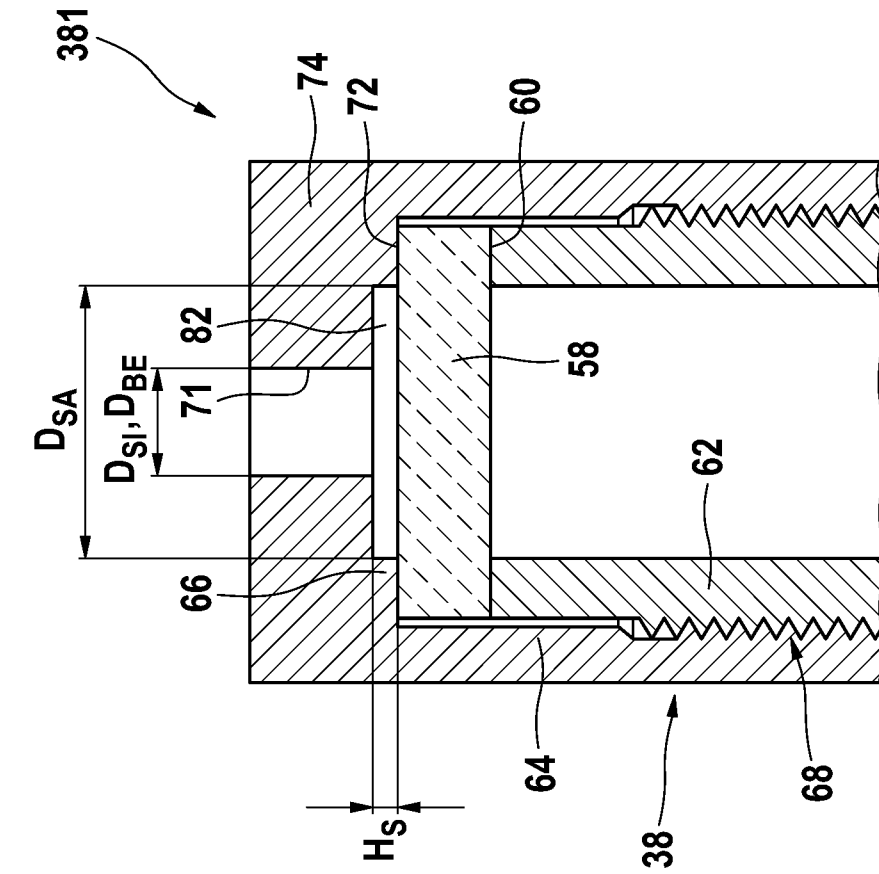


Fig. 5

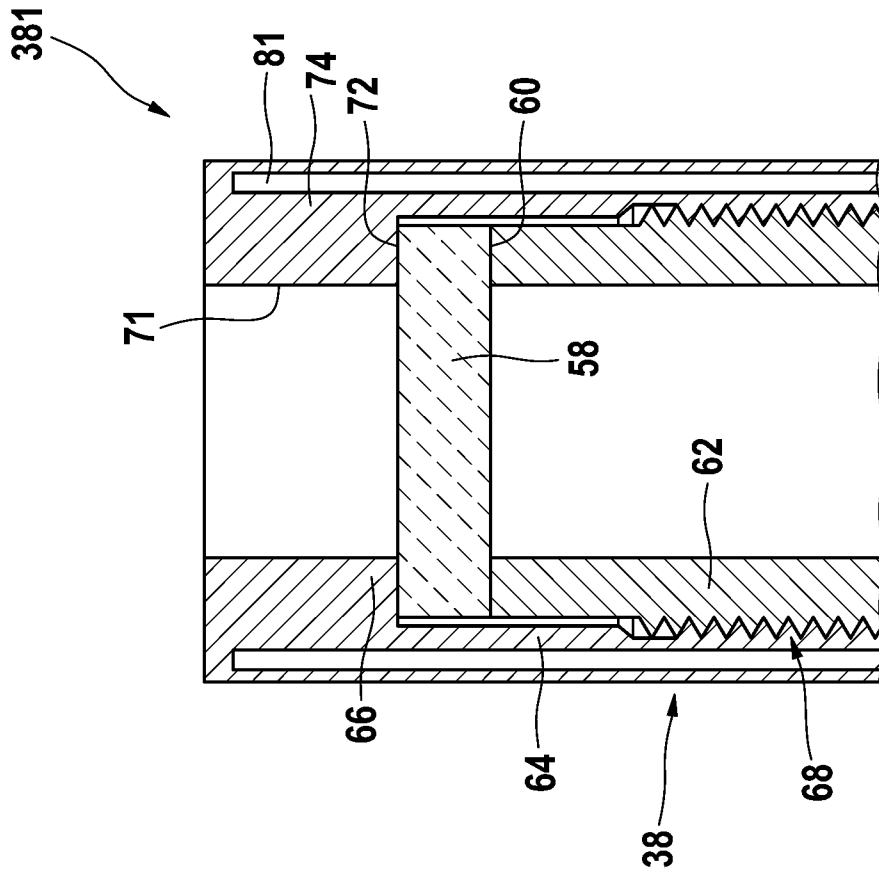


Fig. 4

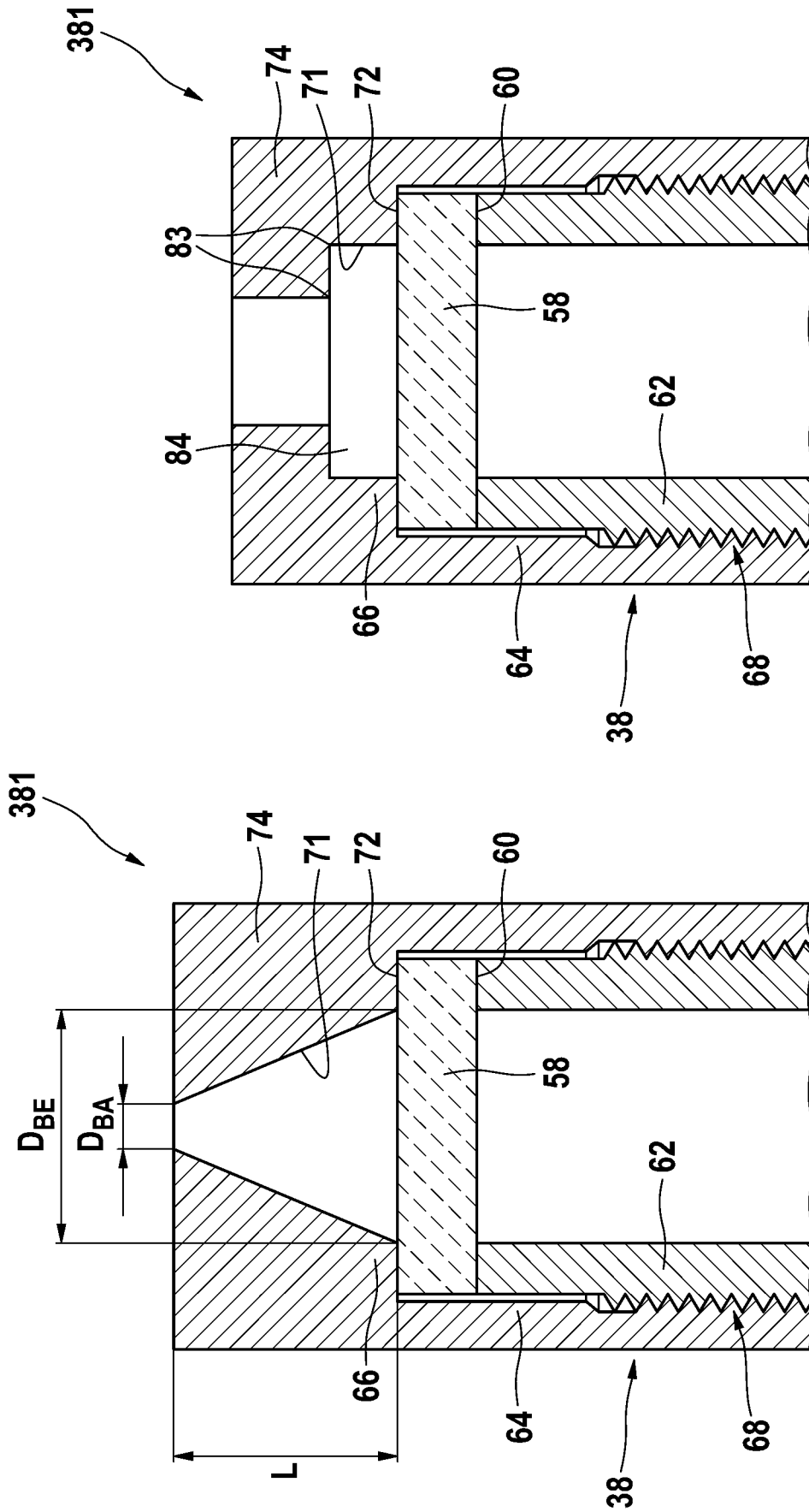


Fig. 7

Fig. 6

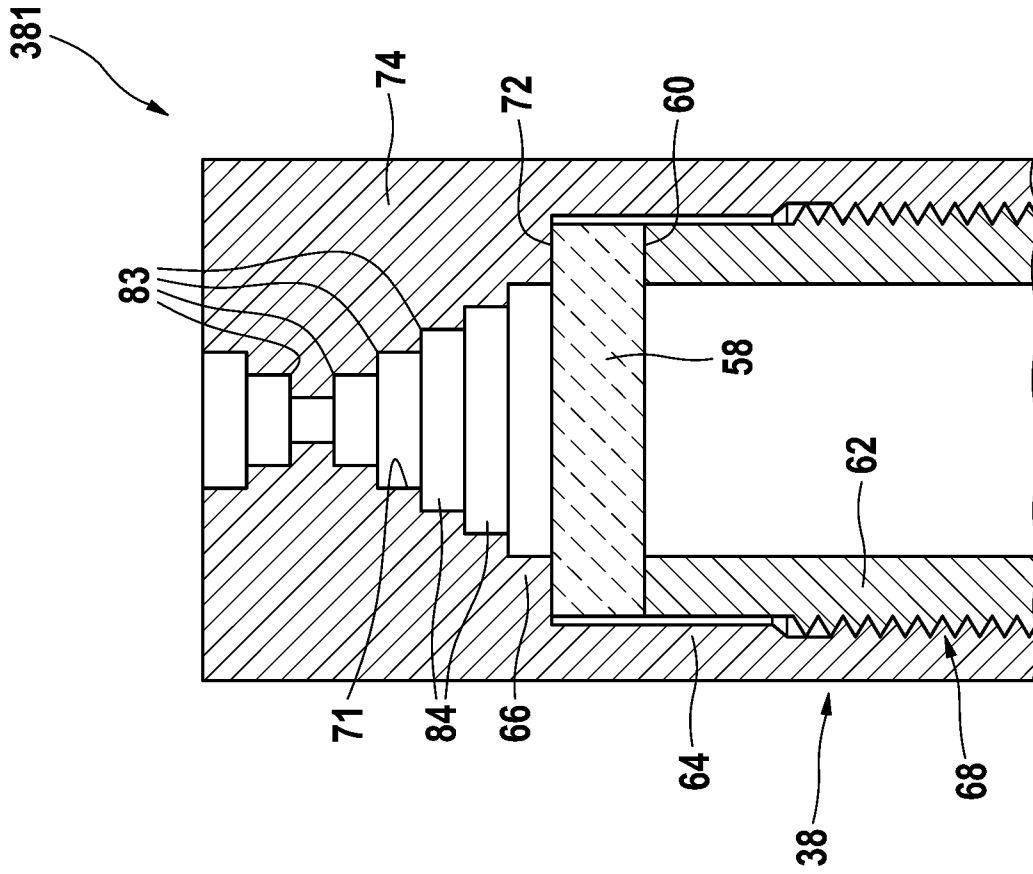


Fig. 9

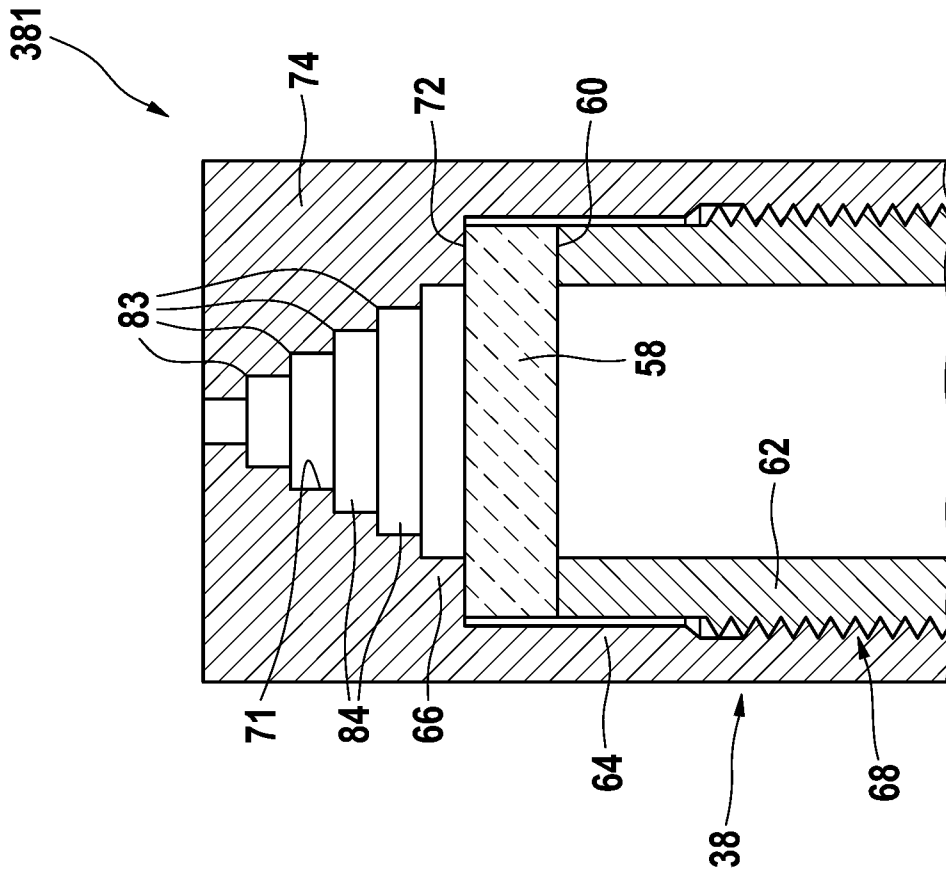


Fig. 8

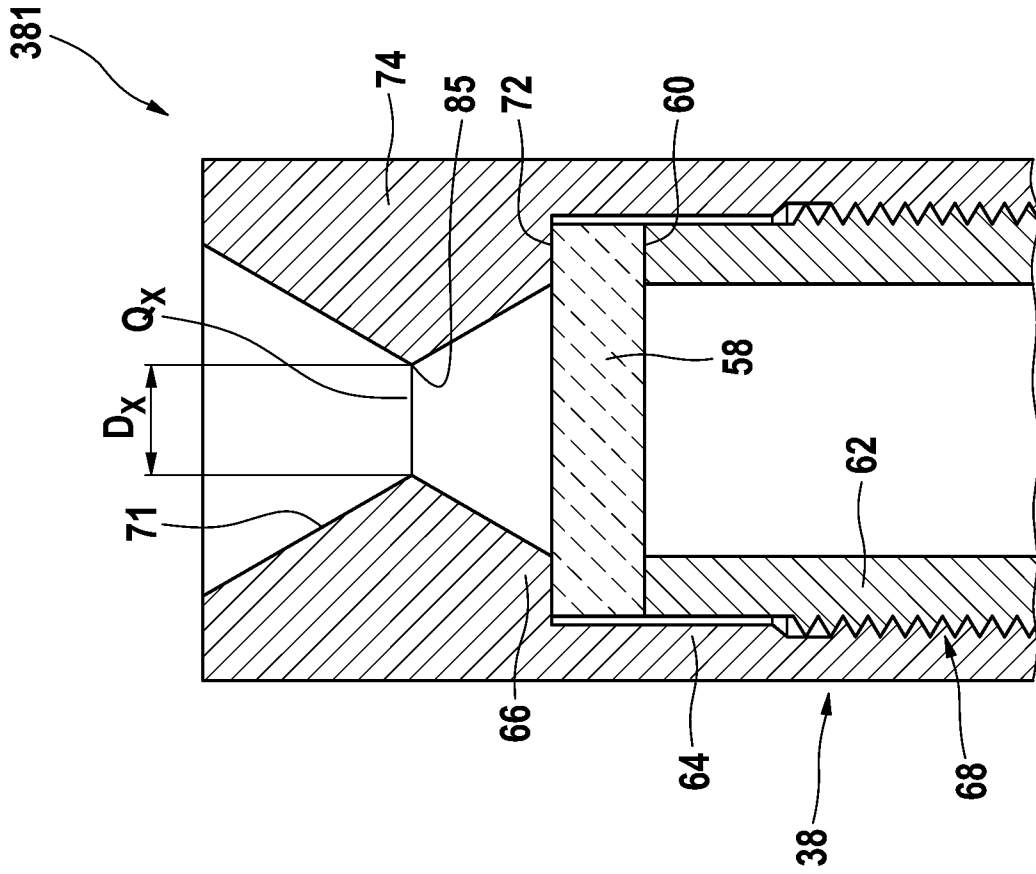


Fig. 11

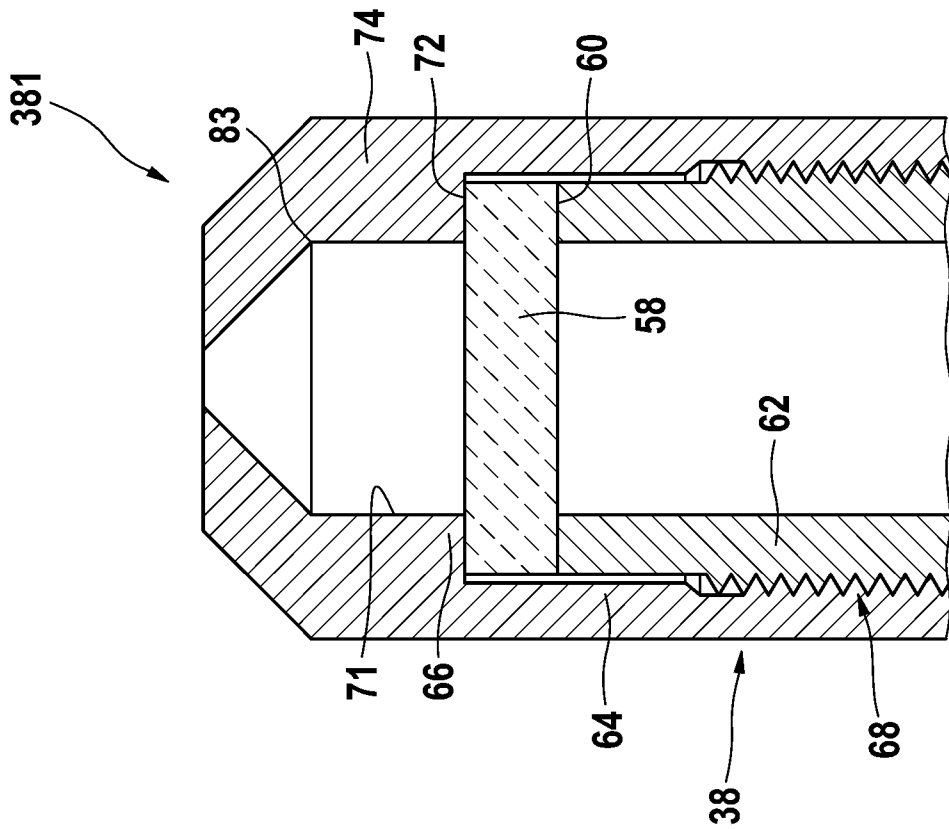


Fig. 10

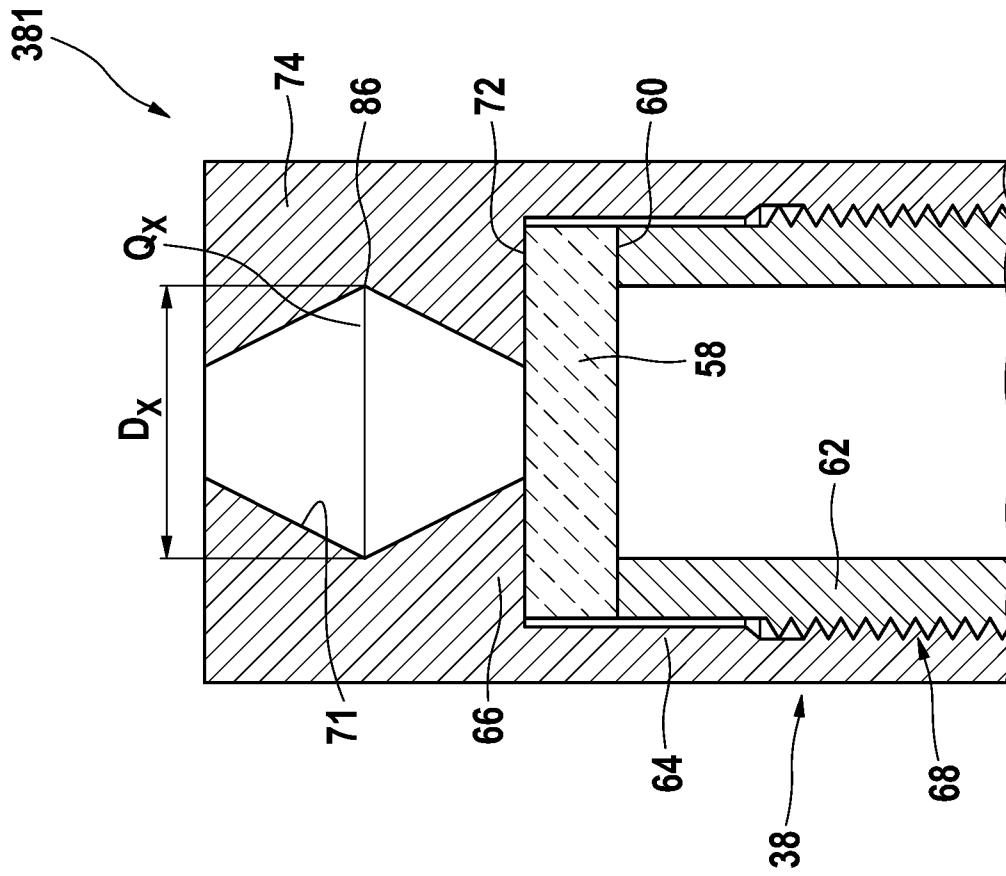


Fig. 13

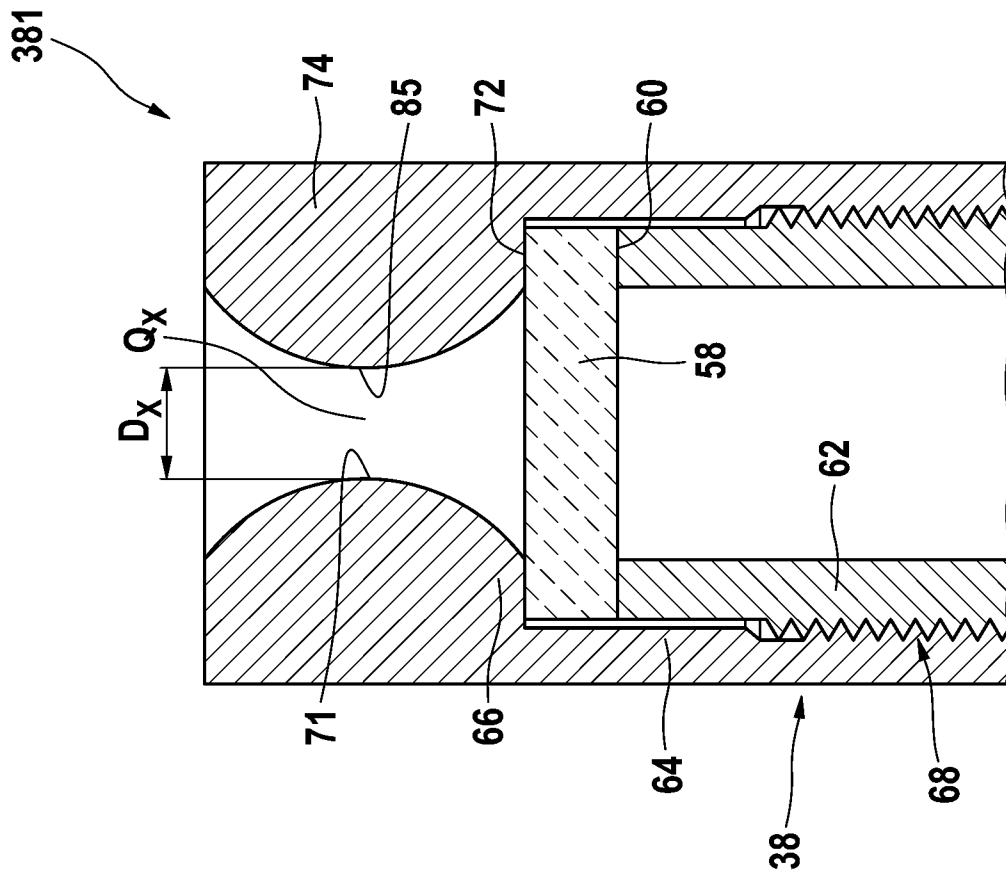


Fig. 12

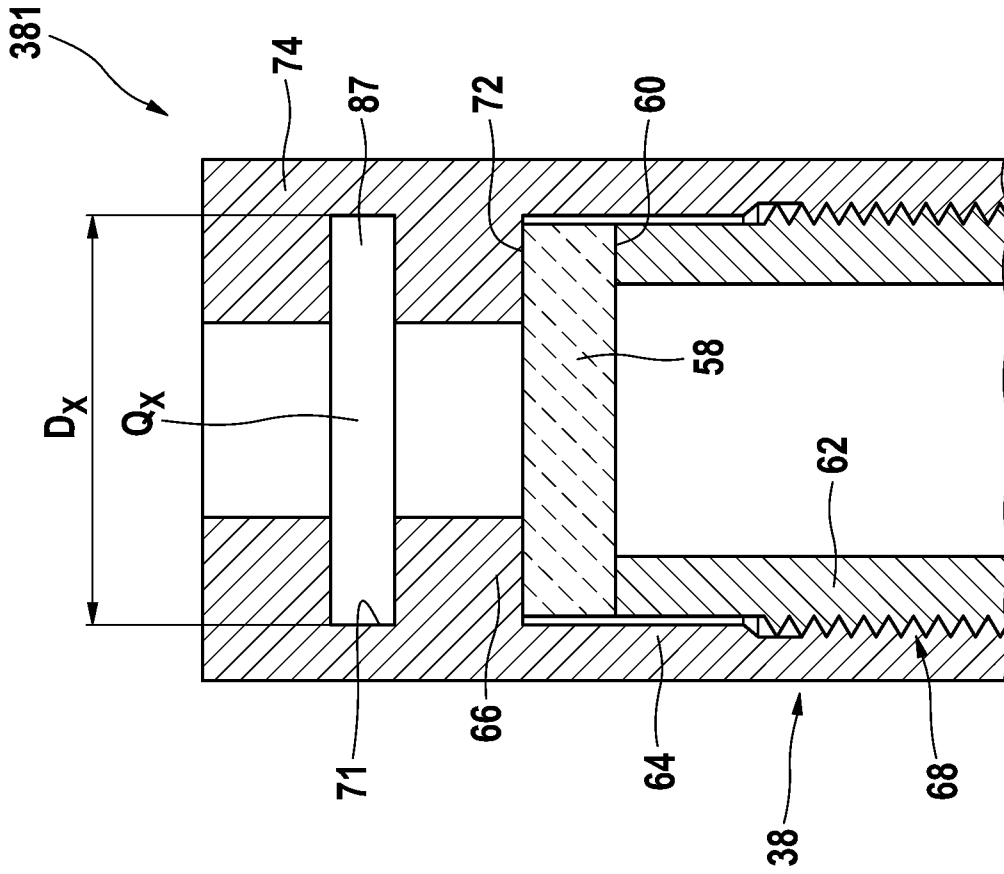


Fig. 15

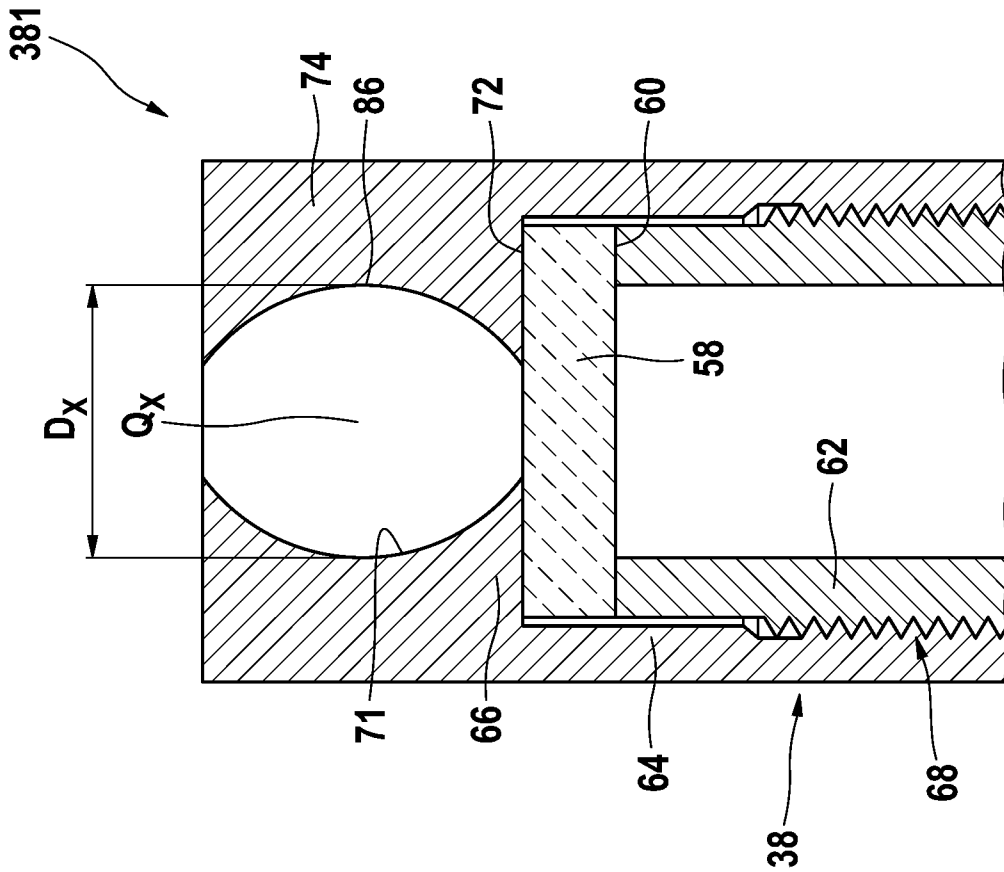


Fig. 14

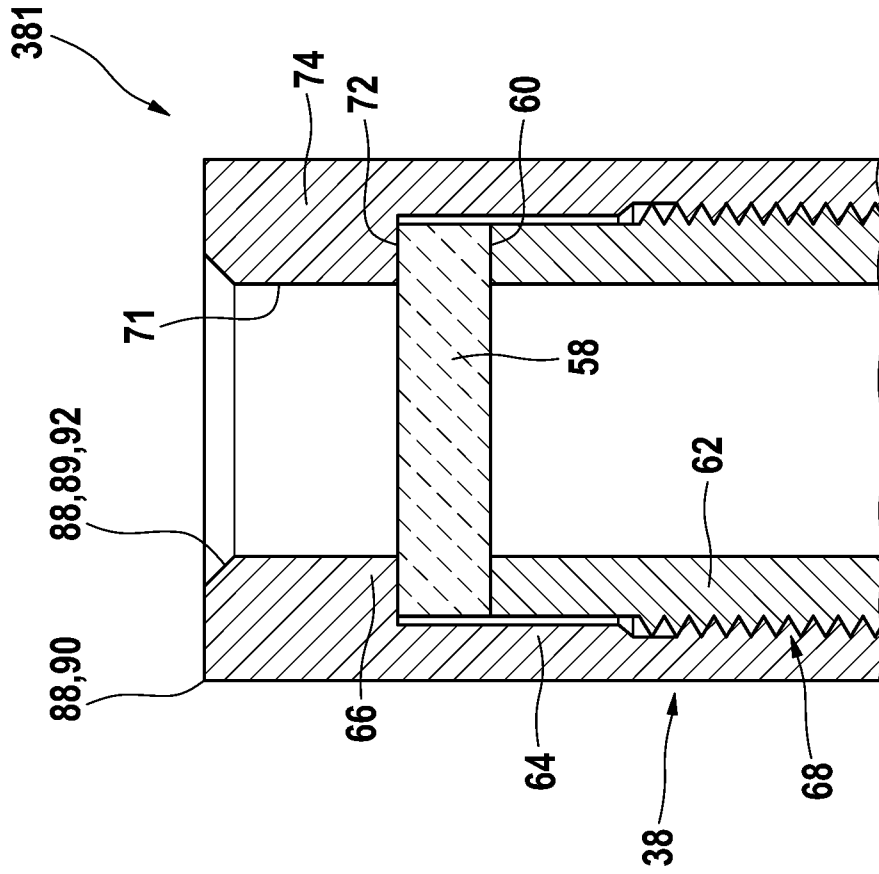


Fig. 17

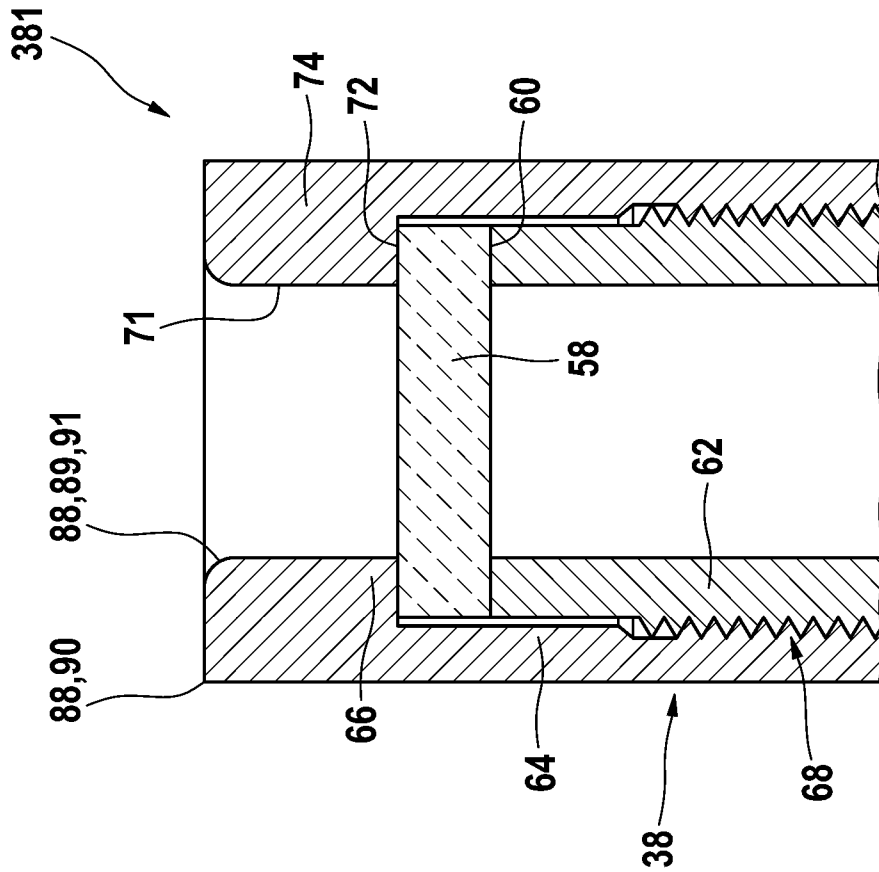


Fig. 16

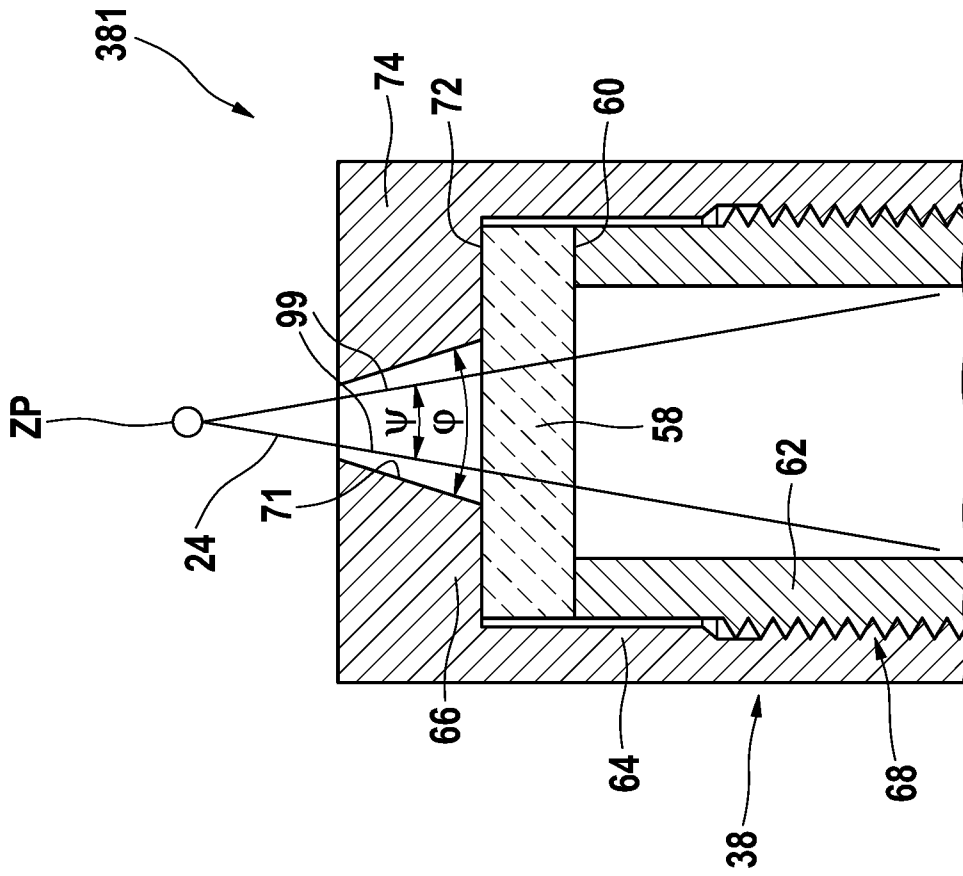


Fig. 19

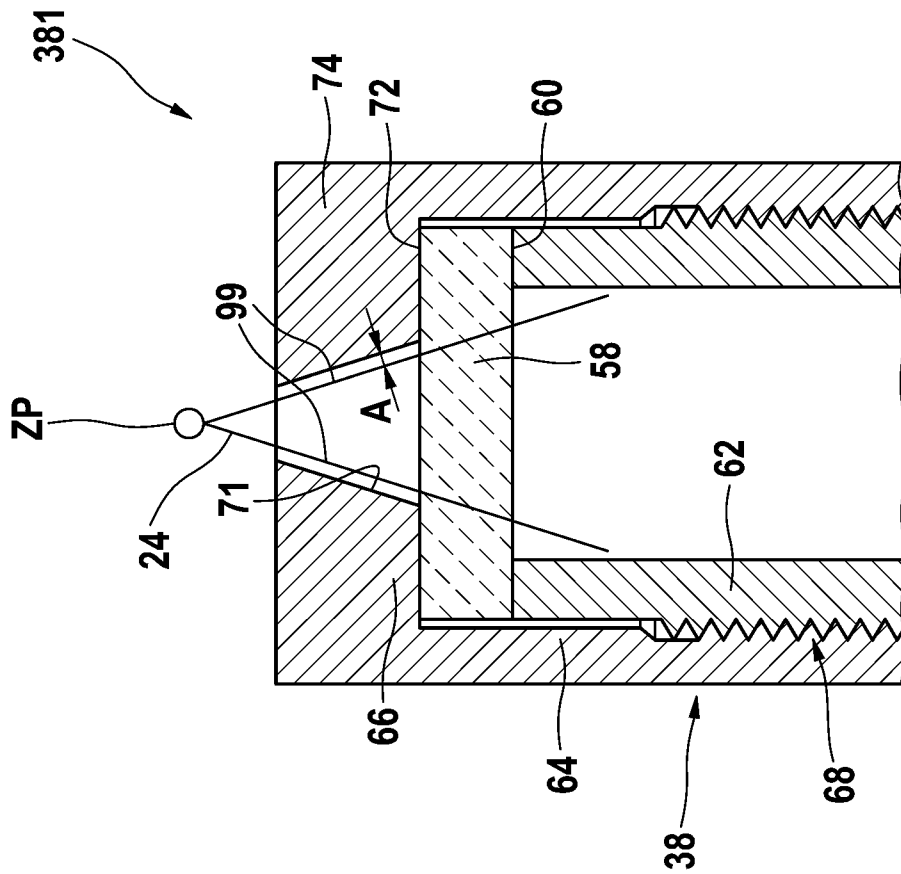


Fig. 18

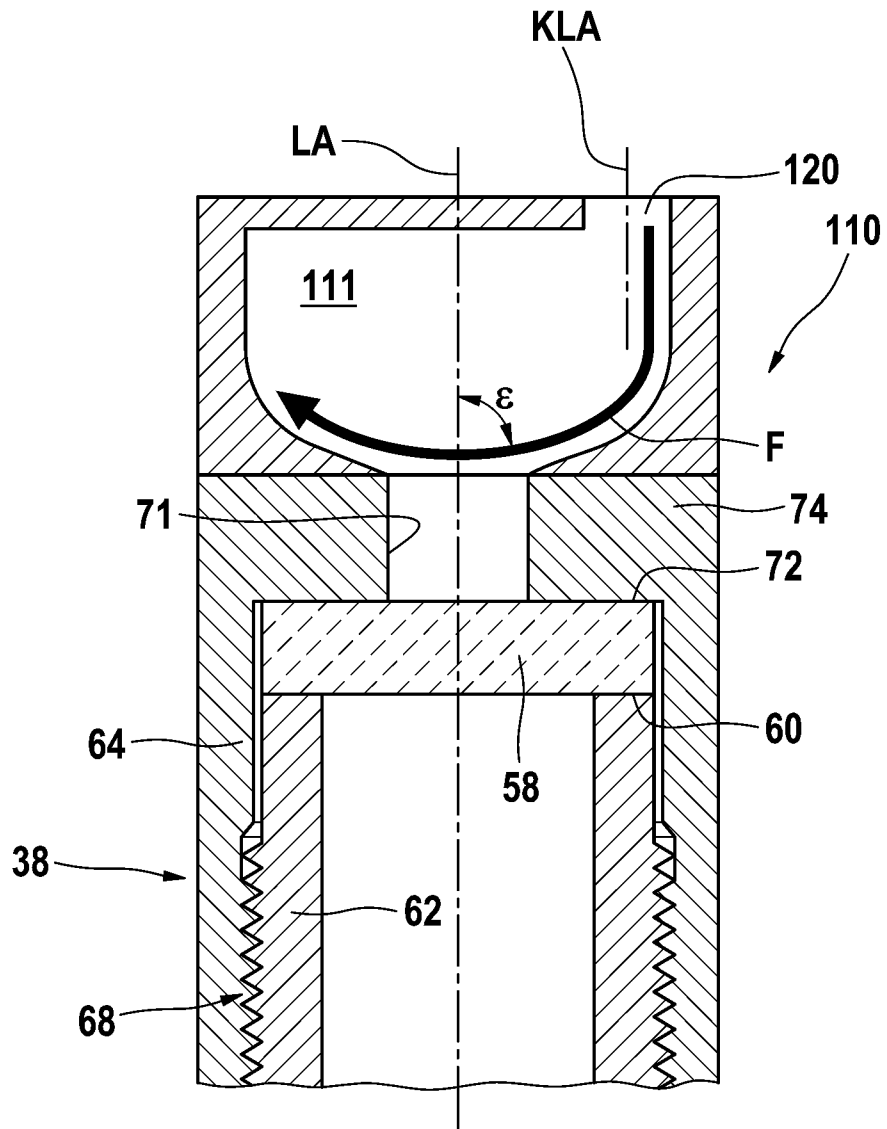


Fig. 20

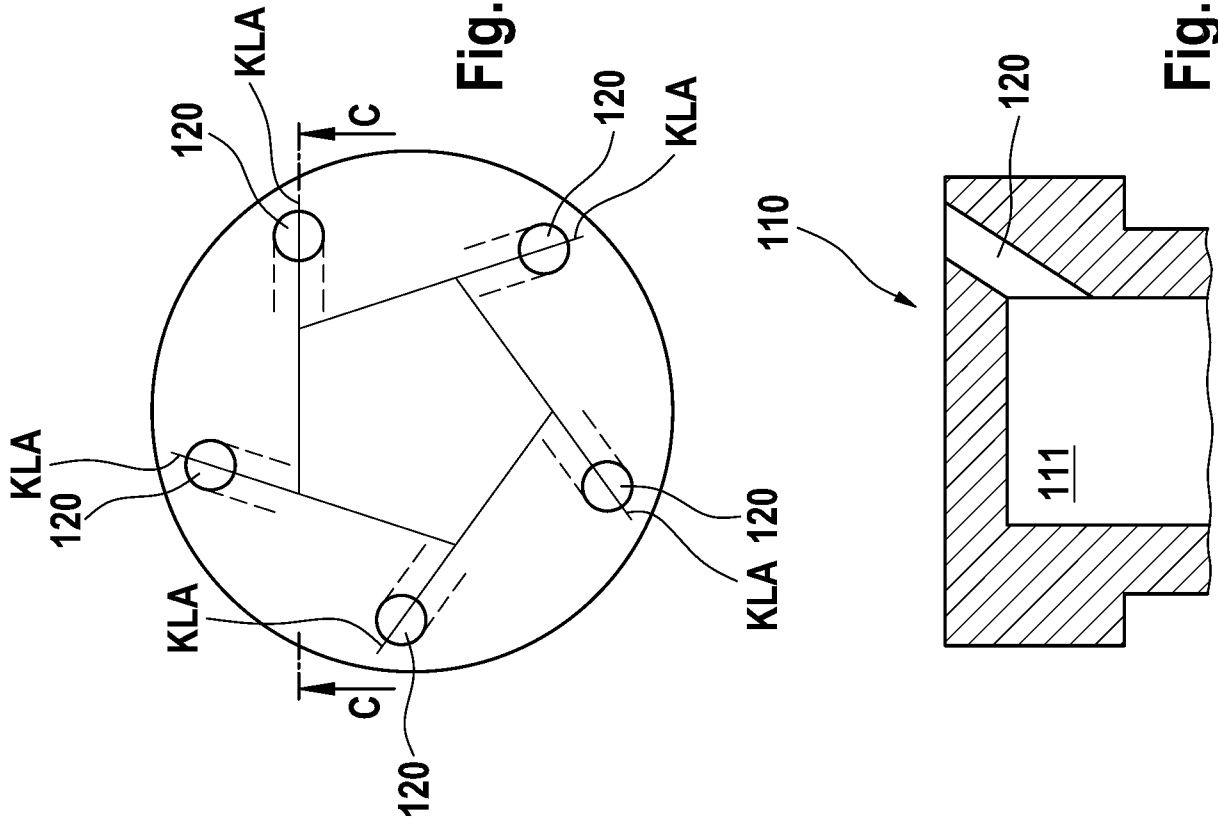


Fig. 21c

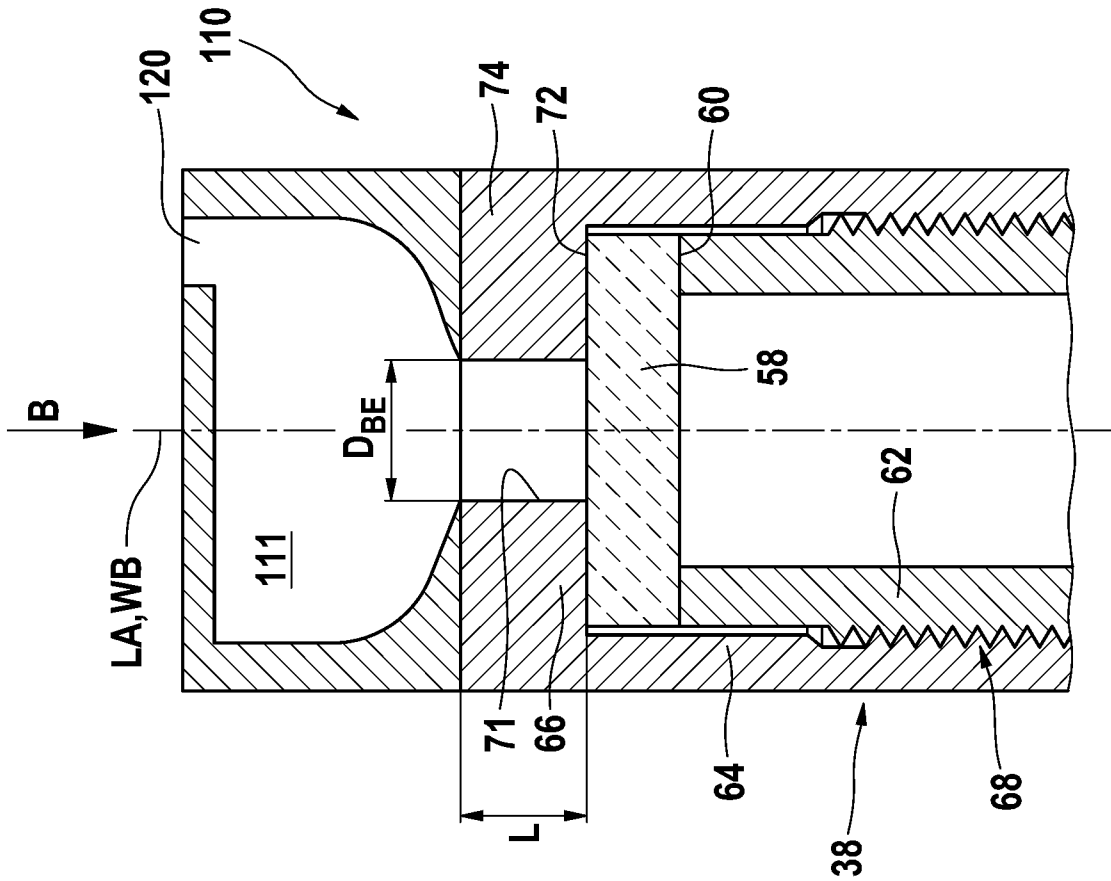
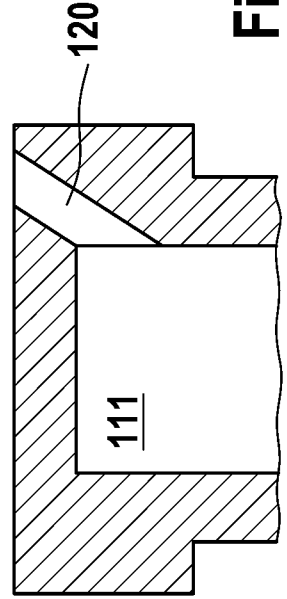


Fig. 21a

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/055185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02P23/04
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)
F02P F23Q H01T

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 practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 873 763 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 3 February 2006 (2006-02-03)	1-5,7-9
Y	page 5, lines 20-28 - page 6, lines 1-3, 25-30; figure 3 page 7, lines 14-16 - page 8, lines 12-18 page 9, lines 6-11,22-29	6,10-13
Y	DE 10 2006 018973 A1 (KUHNERT LATSCH GBR VERTRETUNGS [DE]) 31 October 2007 (2007-10-31) paragraphs [0007], [0012], [0015] - [0017]; figures 1-3	12,13
Y	EP 2 072 803 A2 (GE JENBACHER GMBH & CO OHG [AT]) 24 June 2009 (2009-06-24) paragraph [0023] - paragraph [0027]; figures 1-4	10,11
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

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 document 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 9 August 2011	Date of mailing of the international search report 18/08/2011
--------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/055185

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2007 045180 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2 April 2009 (2009-04-02) paragraphs [0004], [0019] - [0021]; figure 2 -----	6
A	US 4 852 529 A (VOWLES ROBERT W [AU]) 1 August 1989 (1989-08-01) column 4, lines 25-53 - column 7, lines 63-67; figures 2-3 -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2011/055185

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2873763	A1	03-02-2006	NONE

DE 102006018973	A1	31-10-2007	NONE

EP 2072803	A2	24-06-2009	AT 506200 A1 15-07-2009
			CN 101463791 A 24-06-2009
			US 2009159031 A1 25-06-2009

DE 102007045180	A1	02-04-2009	WO 2009040177 A1 02-04-2009

US 4852529	A	01-08-1989	AU 600717 B2 23-08-1990
			AU 7165887 A 28-09-1987
			WO 8705364 A1 11-09-1987
			BR 8706092 A 19-01-1988
			EP 0259381 A1 16-03-1988
			JP 63502682 T 06-10-1988

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/055185

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02P23/04 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02P F23Q H01T		
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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 2 873 763 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 3. Februar 2006 (2006-02-03)	1-5,7-9
Y	Seite 5, Zeilen 20-28 - Seite 6, Zeilen 1-3, 25-30; Abbildung 3 Seite 7, Zeilen 14-16 - Seite 8, Zeilen 12-18 Seite 9, Zeilen 6-11,22-29 -----	6,10-13
Y	DE 10 2006 018973 A1 (KUHNERT LATSCH GBR VERTRETUNGS [DE]) 31. Oktober 2007 (2007-10-31) Absätze [0007], [0012], [0015] - [0017]; Abbildungen 1-3 ----- -/--	12,13
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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" älteres Dokument, 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 anderen 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	
9. August 2011	18/08/2011	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Ossanna, Luca	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 2 072 803 A2 (GE JENBACHER GMBH & CO OHG [AT]) 24. Juni 2009 (2009-06-24) Absatz [0023] - Absatz [0027]; Abbildungen 1-4	10,11
Y	----- DE 10 2007 045180 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 2. April 2009 (2009-04-02) Absätze [0004], [0019] - [0021]; Abbildung 2	6
A	----- US 4 852 529 A (VOWLES ROBERT W [AU]) 1. August 1989 (1989-08-01) Spalte 4, Zeilen 25-53 - Spalte 7, Zeilen 63-67; Abbildungen 2-3 -----	1-11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/055185

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2873763	A1	03-02-2006	KEINE

DE 102006018973	A1	31-10-2007	KEINE

EP 2072803	A2	24-06-2009	AT 506200 A1 15-07-2009
			CN 101463791 A 24-06-2009
			US 2009159031 A1 25-06-2009

DE 102007045180	A1	02-04-2009	WO 2009040177 A1 02-04-2009

US 4852529	A	01-08-1989	AU 600717 B2 23-08-1990
			AU 7165887 A 28-09-1987
			WO 8705364 A1 11-09-1987
			BR 8706092 A 19-01-1988
			EP 0259381 A1 16-03-1988
			JP 63502682 T 06-10-1988
