

(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
18. Oktober 2018 (18.10.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/188954 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F02M 61/18 (2006.01) F02B 75/12 (2006.01)
F02B 23/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/057913

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. März 2018 (28.03.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 107 947.5
12. April 2017 (12.04.2017) DE

(71) Anmelder: VOLKSWAGEN AG [DE/DE]; Berliner Ring
2, 38440 Wolfsburg (DE).

(72) Erfinder: REISCH, Uwe; Vor dem Busch 82, 38442
Wolfsburg (DE). CAMPE, Mario; Wacholderweg 16,
38547 Calberlah (DE).

(74) Anwalt: GULDE & PARTNER PATENT- UND RECH-
TSANWALTSKANZLEI MBB; Wallstr. 58/59, 10179
Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: JET PATTERN OF A MULTI-HOLE INJECTION VALVE FOR INJECTION PRESSURES OF OVER 300 BAR IN
SPARK-IGNITION ENGINES HAVING A CENTRAL INJECTOR POSITION

(54) Bezeichnung: STRAHLBILD EINES MEHRLOCH-EINSPRITZVENTILS FÜR EINSPRITZDRÜCKE ÜBER 300 BAR BEI
OTTOMOTOREN MIT ZENTRALER INJEKTORLAGE

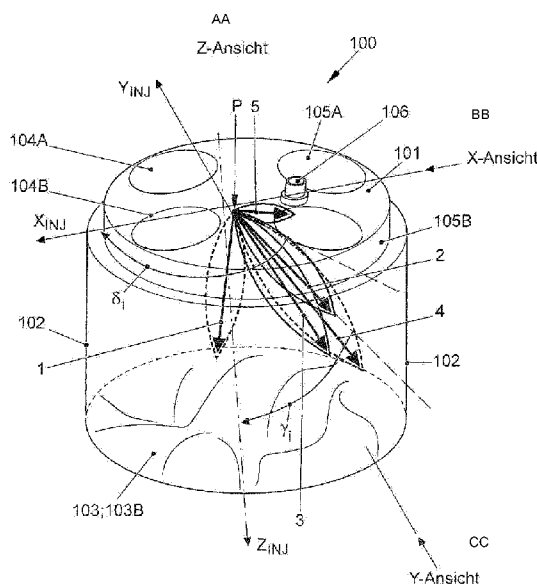


FIG. 1

AA Z view
BB X view
CC Y view

(57) Abstract: The invention relates to an internal combustion engine and to a method for operating the internal combustion engine, which has at least one cylinder having a combustion chamber, the combustion chamber being bounded by a cylinder roof, a cylinder wall and a movable cylinder piston, a multi-hole injection nozzle and a spark plug being arranged in a central position in the cylinder roof, the multi-hole injection nozzle injecting fuel into the combustion chamber at injection pressures of ≥ 300 bar by means of a plurality of injection jets. It is provided that at least one injection jet ($i \geq 1$) injects fuel into a three-dimensional space within the combustion chamber on the intake side, which space lies below an opening of at least one intake valve (104A, 104B) with respect to the direction of the longitudinal central axis (Z) of the cylinder, and at least four injections jets ($i \geq 4$) inject fuel into a three-dimensional space of the combustion chamber on the exhaust side, which space lies below an opening of at least one exhaust valve (105A, 105B).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine und eine Verfahren zum Betrieb der Brennkraftmaschine, die mindestens einen Zylinder mit einem Brennraum aufweist, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach, einer Zylinderwand und einem beweglichen Zylinderkolben begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach eine Mehrloch-Einspritzdüse und eine Zündkerze in zentraler Lage angeordnet sind, wobei die Mehrloch-Einspritzdüse über mehrere Einspritzstrahlen Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum einspritzt. Es ist vorgesehen, dass mindestens ein Einspritzstrahl ($i \geq 1$) Kraftstoff in einen

SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

dreidimensionalen Raum innerhalb des einlassseitigen Brennraums einspritzt, der in Richtung der Längsmittelachse (Z) des Zylinders gesehen, unterhalb einer Öffnung mindestens eines Einlassventiles (104A, 104B) liegt, und mindestens vier Einspritzstrahlen (i >= 4) Kraftstoffs in einen dreidimensionalen Raum des auslassseitigen Brennraums einspritzen, der in Richtung der Längsmittelachse (Z) des Zylinders unterhalb einer Öffnung mindestens eines Auslassventiles (105A, 105B) liegt.

Beschreibung

Strahlbild eines Mehrloch-Einspritzventils für Einspritzdrücke über 300 bar
bei Ottomotoren mit zentraler Injektorlage

Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine und ein Verfahren zum Betrieb der Brennkraftmaschine, die mindestens einen Zylinder mit einem Brennraum aufweist, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach, einer Zylinderwand und einem beweglichen Zylinderkolben begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach eine Mehrloch-Einspritzdüse und eine Zündkerze in zentraler Lage angeordnet sind, wobei die Mehrloch-Einspritzdüse über mehrere Einspritzstrahlen Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum einspritzt.

Beim Miller-Verfahren sind gegenüber einem herkömmlichen Verbrennungsmotor die Ventilschließzeiten modifiziert. Beim Miller-Zyklus schließt das Einlassventil früher (also deutlich bevor der Kolben den UT erreicht) als bei konventionellen Ottomotoren. Damit gehen zwei Effekte einher. Erstens fällt die Temperatur der in den Brennraum strömenden Luft bei Turbotriebwerken geringer aus. Zweitens fallen die in den Brennraum strömende Luftlademenge und der Verdichtungsenddruck bei gleichbleibenden Verdichtungs- und Expansionsverhältnis kleiner aus. Mit anderen Worten, durch das noch während des Ansaughubes schließende Ventil ist die Luftmenge im Brennraum nicht nur kühler, sondern es befindet sich auch weniger Luft darin als möglich wäre. Im Endeffekt soll durch eine bessere Verbrennung mehr Expansionsenergie frei werden und somit der Kraftstoff effizienter genutzt werden. Der daraus resultierende höhere Wirkungsgrad spiegelt sich auch in niedrigeren Abgastemperaturen wieder. Der Nachteil einer geringeren Zylinderfüllung aufgrund des früheren Schließens des Einlassventils wird durch Anordnung eines Turboladers oder durch mehr Hubraum überwunden. Da mehr Hubraum bei modernen Motoren nicht das Ziel ist und in der Regel Downsizing angestrebt wird, kommt derzeit das Miller-Verfahren bei Motoren mit Turbolader und variabler Ventilsteuerung zur Anwendung. Bekannt ist, dass das Miller-Brennverfahren in Zukunft für Ottomotoren mit einem ungewöhnlich hohen Verdichtungsverhältnis von beispielsweise 12,5 : 1 – und einer Aufladung durch einen Abgasturbolader mit variabler Turbinengeometrie eingesetzt wird. Außerdem kommen bei den zukünftigen Ottomotoren auch Common-Rail-Einspritzanlagen mit einem gegenüber den herkömmlichen Ottomotoren erhöhten Einspritzdruck von 300 bar und mehr zum Einsatz. Diese Entwicklung erfordert für Ottomotoren eine Überprüfung der Strahlbilder von herkömmlichen Mehrloch-Einspritzventilen für Einspritzdrücke größer/gleich 300 bar.

Die Druckschrift WO 2012/045850 A2 offenbart ein Verfahren zum Betreiben einer Viertakt-Brennkraftmaschine mit Funkenzündung und direkter Kraftstoffeinspritzung in einen Brennraum, wobei zumindest im Warmlaufbereich und/oder im betriebswarmen Zustand der Brennkraftmaschine pro Arbeitszyklus zumindest zwei Einspritzungen durchgeführt werden. Es ist vorgesehen, dass in einem höheren Teillast- oder Volllastbereich, eine erste Einspritzung oder deren Einspritzbeginn in einem ersten oder zweiten Zeitfenster und eine zweite Einspritzung oder deren Einspritzbeginn im zweiten oder dritten Zeitfenster im Ansaugtakt durchgeführt wird, wobei vorzugsweise pro Zeitfenster nur eine Einspritzung oder deren Einspritzbeginn erfolgt. Bei dem herkömmlichen Verfahren hat sich gezeigt, dass die besten Ergebnisse erzielt werden können, wenn für das Strahlbild der Einspritzeinrichtung sechs beziehungsweise sieben Einspritzöffnungen pro Einspritzeinrichtung verwendet werden. Bei seitlicher Injektorlage werden beispielsweise an der Oberseite zwei Einspritzöffnungen, an der Unterseite zwei Einspritzöffnungen und an der Seite zwei Einspritzöffnungen verwendet. Zur Verbesserung der Schichtfähigkeit kann auch eine mittige Einspritzöffnung verwendet werden. Bei zentraler Lage der Einspritzeinrichtung werden daher im Allgemeinen Sechs-Loch-Injektoren verwendet. Dabei zielen in vorteilhafter Weise zwei Einspritzstrahlen in Richtung Zündkerze. Der Summenstrahl wird bevorzugt oval ausgeführt, da die Ladungsbewegung die Einspritzstrahlen beeinflusst. Die ovale Ausführung verringert die Wandbenetzung. Diese Vorgehensweise und die Ausrichtung der Einspritzstrahlen sind jedoch, wie die Druckschrift offenbart, nur für Einspritzdrücke von maximal 300 bar im Hochlastbereich der Brennkraftmaschine verifiziert und vorteilhaft.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, für eine fremdgezündete Brennkraftmaschine ein Strahlbild (Spray) einer Mehrloch-Einspritzdüse zu schaffen, welches bei Einspritzdrücken größer/gleich 300 bar eine optimale Gemischbildung des Kraftstoff/Luft-Gemischs und eine optimale Gemischzündung gewährleistet.

Ausgangspunkt der Erfindung ist eine Brennkraftmaschine mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach, einer Zylinderwand und einem beweglichen Zylinderkolben begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach eine Mehrloch-Einspritzdüse und eine Zündkerze in zentraler Lage angeordnet sind, wobei die Mehrloch-Einspritzdüse über mehrere Einspritzstrahlen Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum einspritzt.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens ein Einspritzstrahl Kraftstoff in einen dreidimensionalen Raum innerhalb des einlassseitigen Brennraums einspritzt, der in Richtung

der Längsmittelachse des Zylinders gesehen, unterhalb einer Öffnung mindestens eines Einlassventiles liegt und mindestens vier Einspritzstrahlen Kraftstoff in einen dreidimensionalen Raum des auslassseitigen Brennraums einspritzen, der in Richtung der Längsmittelachse des Zylinders unterhalb einer Öffnung mindestens eines Auslassventiles liegt.

Der dreidimensionale Raum wird durch einen δ -Winkel-Einstellbereich und einen γ -Winkel-Einstellbereich der Einspritzwinkel der mindestens fünf Einspritzstrahlen definiert.

Zur Bestimmung der dreidimensionalen Lage der Einspritzstrahlen im dreidimensionalen Raum ist jedem der Einspritzstrahlen je ein δ -Einspritzwinkel zugeordnet, der als Winkel gegenüber einer Injektorachse definiert ist, wobei die dem δ -Einspritzwinkel zugeordnete Injektorachse mit einer weiteren orthogonal dazu angeordneten Injektorachse eine aufgespannte Normalebene bildet, wobei jedem Einspritzstrahl ferner ein γ -Einspritzwinkel zugeordnet ist, der als Winkel gegenüber einer Injektorlängsachse definiert ist, die orthogonal zu der Normalebene verläuft.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die δ -Einspritzwinkel der mindestens vier auslassseitigen Einspritzstrahlen gegenüber der definierten Injektorachse der Normalebene in einem δ -Winkel-Einstellbereich zwischen $\pm 100^\circ$ und $\pm 170^\circ$ zur Injektorachse und gegenüber der definierten Injektorlängsachse in einem γ -Winkel-Einstellbereich zwischen 25° und 75° orientiert sind.

Bevorzugt sind je zwei der vier Einspritzstrahlen symmetrisch zur definierten Injektorachse der Normalebene angeordnet.

Bei einer Fünfloch-Einspritzdüse ist bevorzugt vorgesehen, dass ein zweiter Einspritzstrahl bezüglich der Normalebene zwischen dem ersten Einspritzstrahl und dem dritten Einspritzstrahl und ein fünfter Einspritzstrahl bezüglich der Normalebene zwischen dem ersten Einspritzstrahl und dem vierten Einspritzstrahl angeordnet ist, wobei nur der erste Einspritzstrahl einlassseitig in den Brennraum einspritzt.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Einspritzwinkel des ersten Einspritzstrahls bezüglich der Normalebene $= 0^\circ$ beträgt und der Einspritzwinkel des ersten Einspritzstrahls bezüglich der Injektorlängsachse $= 15^\circ$ beträgt, wodurch der Einspritzstrahl in Richtung des Zylinderkolbens in den einlassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzt.

Bei einer Fünfloch-Einspritzdüse ist ferner bevorzugt, dass die Einspritzwinkel des zweiten und fünften Einspritzstrahls innerhalb des δ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Normalebene = $\pm 120^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel des zweiten und fünften Einspritzstrahls innerhalb des γ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Injektorlängsachse = 57° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen im Wesentlichen in Richtung der Zylinderwand in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.

In einer Ausführungsform ist zudem bevorzugt, dass die Einspritzwinkel des dritten und vierten Einspritzstrahls innerhalb des δ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Normalebene = $\pm 150^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel des dritten und vierten Einspritzstrahls innerhalb des γ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Injektorlängsachse = 30° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen in den Bereich zwischen Zylinderkolben und Zylinderwand in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.

In einer anderen Ausführungsform ist bevorzugt, dass die Einspritzwinkel des dritten und vierten Einspritzstrahls innerhalb des δ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Normalebene = $\pm 155^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel des dritten und vierten Einspritzstrahls innerhalb des γ -Winkel-Einstellbereichs bezüglich der Injektorlängsachse = 39° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen im Wesentlichen in Richtung der Zylinderwand in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Injektorlängsachse des Injektors in der zentralen Injektor-Einbaulage gegenüber einer vertikalen Achse z um einen Neigungswinkel zwischen 0° und 15° in Richtung der Auslassventile insbesondere um einen Neigungswinkel = 5° geneigt ist.

Ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach, einer Zylinderwand und einem beweglichen Zylinderkolben begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach eine Mehrloch-Einspritzdüse, insbesondere eine Fünfloch-Einspritzdüse und eine Zündkerze in zentraler Lage angeordnet sind, wobei über die Mehrloch-Einspritzdüse über mehrere Einspritzstrahlen Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum eingespritzt wird, zeichnet sich dadurch aus, dass durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse eine Ladungsbewegung innerhalb des Brennraums durch die kinetische Energie

der Einspritzstrahlen und die Umlenkung der Einlassströmung aufgrund der Einspritzstrahlen verstärkt wird.

Das Verfahren ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse, insbesondere der Fünfloch-Einspritzdüse und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse innerhalb des Brennraums eine durch die Einlassströmung hervorgerufene Wirbelströmung (Tumble) des Kraftstoff/Luft-Gemischs durch die kinetische Energie der Einspritzstrahlen und die Ablenkung der Einlassströmung verstärkt wird, wobei die auslasseitigen Einspritzstrahlen mit geringer Eindringtiefe in die Tumbleströmung eindringen und der Kraftstoff durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar fein zerstäubt wird, wobei die Tumbleströmung über den Zylinderkolben in den einlassseitigen Bereich umgelenkt wird und schließlich den mindestens einen einlassseitigen Einspritzstrahl erfasst und umfasst.

Ferner wird durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse, insbesondere der Fünfloch-Einspritzdüse und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse innerhalb des Brennraums, ein Entzünden des Kraftstoffs mittels der Zündkerze verbessert, da bevorzugt mindestens zwei der auslasseitigen Einspritzstrahlen zur Zündkerze hin orientiert angeordnet sind.

Die zuvor genannten Verfahrensabläufe treten in Abhängigkeit der Ausgestaltung der Brennkraftmaschine allein oder in Kombination auf.

Bevorzugt wird vorgeschlagen, das Verfahren in ein Brennverfahren zu integrieren, bei dem mindestens ein Einlassventil bereits geschlossen wird, bevor der Zylinderkolben den unteren Tiefpunkt erreicht, da bei solchen Verfahren die beschriebenen Effekte von besonderem Vorteil sind, wie in der Beschreibung noch näher erläutert ist.

Insbesondere wird die erfindungsgemäße Lösung zum Einsatz im Miller-Brennverfahren für eine Otto-Brennkraftmaschine vorgeschlagen, wie noch erläutert wird. Der Einsatz ist jedoch nicht auf dieses Brennverfahren beschränkt. Auch herkömmliche Motoren können entsprechend ausgestaltet werden und nach dem beschriebenen Verfahren betrieben werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine perspektivische Ansicht auf einen dreidimensional dargestellten Zylinder einer Brennkraftmaschine;
- Figur 2A eine Draufsicht (Z-Ansicht) auf den zweidimensional dargestellten Zylinder gemäß Figur 1 aus z-Richtung ohne die Einspritzstrahlen;
- Figur 2B die Draufsicht (Z-Ansicht) auf den zweidimensionalen Zylinder gemäß Figur 1 aus z-Richtung mit den Einspritzstrahlen;
- Figur 2C die erfindungsgemäße Tabelle zur Verdeutlichung der Einspritzwinkel;
- Figur 3A eine Seitenansicht Draufsicht (X-Ansicht) auf den zweidimensionalen Zylinder gemäß Figur 1 aus x-Richtung ohne die Einspritzstrahlen;
- Figur 3B die Draufsicht (X-Ansicht) auf den zweidimensionalen Zylinder gemäß Figur 1 aus x-Richtung mit den Einspritzstrahlen;
- Figur 3C die erfindungsgemäße Tabelle zur Verdeutlichung der Einspritzwinkel;
- Figur 4A eine Seitenansicht Draufsicht (Y-Ansicht) auf den zweidimensionalen Zylinder gemäß Figur 1 aus y-Richtung ohne die Einspritzstrahlen;
- Figur 4B die Draufsicht (Y-Ansicht) auf den zweidimensionalen Zylinder gemäß Figur 1 aus y-Richtung mit den Einspritzstrahlen;
- Figur 4C die erfindungsgemäße Tabelle zur Verdeutlichung der Einspritzwinkel;

Die nachfolgende Beschreibung anhand der Figuren erläutert und zeigt eine bevorzugte Ausführungsform anhand einer Mehrloch-Einspritzdüse mit fünf Düsenlöchern und somit mit fünf Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5. Mit der Mehrloch-Einspritzdüse mit fünf Düsenlöchern wurden die besten Ergebnisse erzielt, wobei die Beschreibung über die bevorzugte Ausführungsform hinaus angibt in welchen Grenzen die Erfindung ausführbar ist.

Die erfindungsgemäße Winkellage der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine 100 wird anhand eines kartesischen Injektor-

Koordinatensystems erläutert, welche in Bezug auf die Injektorlage eines Injektors INJ (Einspritzdüse) bezogen auf einen zylindrischen Brennraum des Zylinders definiert sind.

Die Figur 1 zeigt in einer perspektivischen Ansicht den Brennraum des Zylinders der Brennkraftmaschine 100, der durch ein Zylinderdach 101, die zylindrische Zylinderwand 102 und einen Zylinderkolben 103 mit Ventiltaschen begrenzt wird.

Dargestellt sind ferner zwei Öffnungen für je ein Einlassventil 104A, 104B und zwei Öffnungen für je ein Auslassventil 105A, 105B.

Die Anordnung der Zündkerze 107 und des Injektors INJ erfolgt in der sogenannten zentralen Lage. Mit anderen Worten, die Erfindung betrifft einen Zylinder eines Otto-Motors 100 mit Benzin-Direkteinspritzung und zentraler Injektorlage.

Die zentrale Injektorlage als Einbaulage einer Mehrloch-Einspritzdüse mit der nachfolgend erläuterten erfindungsgemäßen Sprayausbildung der Einspritzstrahlen der Mehrloch-Einspritzdüse INJ weist, insbesondere bei schlechteren Ladungsbewegungsbedingungen eine höhere Verbrennungsstabilität auf, als eine seitliche Lage der Mehrloch-Einspritzdüsen INJ.

In den Figuren wird die Spitze des Injektors INJ, die als Mehrloch-Einspritzdüse ausgebildet ist als ein Punkt P verdeutlicht, wobei die Mehrloch-Einspritzdüse INJ an ihrer dem Punkt P entsprechenden Düsen Spitze bevorzugt fünf Öffnungen zur Einspritzung von fünf Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in den Brennraum des Zylinders aufweist.

Figur 1 zeigt die Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in der dreidimensionalen Ansicht in einem kartesischen Injektor-Koordinatensystem mit den Injektorachsen X_{INJ} , Y_{INJ} , Z_{INJ} , wobei die der Längsachse des Injektors INJ zugeordnete Achse nachfolgend als Injektorlängsachse Z_{INJ} bezeichnet wird.

Die nachfolgende Beschreibung anhand der Figuren zeigt eine bevorzugte Ausführungsform anhand einer Mehrloch-Einspritzdüse mit fünf Düsenlöchern und somit mit fünf Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5.

In Figur 1 ist beispielhaft ein Einspritzwinkel δ_i eines Einspritzstrahls im Raum bezogen auf die Injektorachse X_{INJ} und der zugehörige Einspritzwinkel γ_i bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} dargestellt.

Die Einspritzwinkel δ_i und γ_i definieren jeweils gemeinsam die Lage eines Einspritzstrahls im Brennraum in Abhängigkeit der Lage der Injektorachsen X_{INJ} , Y_{INJ} , Z_{INJ} des Injektor-Koordinatensystems im Brennraum.

Die Z-Ansicht (Figuren 2A und 2B):

In einer Zusammenschau der Figuren 1 und 2A bis 2C wird die Lage der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 bezogen auf die Injektorachse X_{INJ} verdeutlicht, die erfindungsgemäß ausgehend von dem Punkt P (vergleiche Figur 2B) des Injektors INJ bezogen auf eine x_{INJ}/y_{INJ} -Ebene (Normalebene) axialsymmetrisch zwischen den Mittelpunkten M (vergleiche Figur 2A, 2B) der Einlassventile 104A und 104B verläuft.

Als Normalebene x_{INJ} ; y_{INJ} wird die zwischen der Injektorachse X_{INJ} und der dazu orthogonal angeordneten Injektorachse Y_{INJ} aufgespannte Ebene angesehen.

Figur 2A zeigt in der x_{INJ}/y_{INJ} -Ebene als Z-Ansicht eine Draufsicht auf den zweidimensional dargestellten Zylinder gemäß Figur 1 mit Blick aus z-Richtung von oben auf den Zylinder ohne die Einspritzstrahlen.

In der Figur 2B sind die Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in einer zweidimensionalen Projektion auf die x_{INJ}/y_{INJ} -Ebene eingeblendet.

In der Tabelle Figur 3B sind die derart projizierten Einspritzwinkel 1, 2, 3, 4, 5 aufgeführt.

Die Einspritzwinkel δ_i ($i = 1$ bis 5) sind als Winkel bezogen auf die x_{INJ}/y_{INJ} -Ebene zwischen Längsmittelachse der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 und der Injektorachse X_{INJ} definiert.

Die Einspritzwinkel γ_i ; γ'_i ($i = 1$ bis 5) sind als Winkel zwischen der jeweiligen Längsmittelachse der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 und der Injektorlängsachse Z_{INJ} definiert.

Es wird in Figur 2B deutlich, dass der Einspritzstrahl 1 einen Einspritzwinkel $\delta_1 = 0^\circ$ aufweist, das heißt er liegt auf der definierten Injektorebene X_{INJ}/Z_{INJ} .

Dem Einspritzwinkel $\delta_1 = 0^\circ$ ist bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} ein einlassseitiger Einspritzwinkel $\gamma_1 = 15^\circ$ zugeordnet. Vergleiche Figuren 4A und 4B.

Die Injektorlängsachse Z_{INJ} geht von dem Punkt P des Injektors INJ aus. Die Injektorlängsachse Z_{INJ} verläuft vertikal zur $x_{\text{INJ}}/y_{\text{INJ}}$ -Ebene und schneidet die horizontale $x_{\text{INJ}}/y_{\text{INJ}}$ -Ebene (vergleiche Figuren 4A und 4B), wobei der Winkel zwischen der Injektorlängsachse Z_{INJ} und der Injektorachse $X_{\text{INJ}} = 90^\circ$ (gemäß des kartesischen Systems) beträgt.

Die Injektorlängsachse Z_{INJ} des Injektors INJ ist in der vorgestellten zentralen Injektorlage, mithin der Injektor-Einbaulage gegenüber einer gedachten vertikalen Achse Z (vergleiche die Figuren 4A, 4B) in einer bevorzugten Ausführung in x-Richtung um $\Delta z_{\text{INJ}} = 5^\circ$ in Richtung der Auslassventile 105A, 105B geneigt. Die Effekte der Erfindung treten auch ein, wenn der Injektor mit einer Neigung in einem Bereich zwischen $\Delta z_{\text{INJ}} = 0^\circ$ bis 15° angeordnet ist. Es wurde jedoch festgestellt, dass eine Injektor-Neigung $\Delta z_{\text{INJ}} >$ in Richtung der Auslassventile 105A, 105B die erfindungsgemäßen Effekte unterstützt.

Die auslassseitigen Einspritzstrahlen 2 und 5 sind jeweils axialsymmetrisch zur Injektorachse X_{INJ} angeordnet und weisen die Einspritzwinkel δ_2 und $\delta_5 = \pm 120^\circ$ auf. In Uhrzeigerrichtung gesehen beträgt der Einspritzwinkel $\delta_2 = -120^\circ$ und der Einspritzwinkel $\delta_5 = +120^\circ$.

Den Einspritzwinkeln δ_2 und $\delta_5 = \pm 120^\circ$ sind bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} jeweils Einspritzwinkel γ_2 und γ_5 von 57° zugeordnet. (Vergleiche Figuren 4A und 4B)

Die Einspritzstrahlen 3 und 4 sind ebenfalls jeweils axialsymmetrisch zur Injektorachse X_{INJ} angeordnet und weisen Einspritzwinkel δ_3 und δ_4 auf, die zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° angeordnet sind.

In Uhrzeigerrichtung gesehen, beträgt der Einspritzwinkel δ_3 zwischen -150 und -155° und der Einspritzwinkel δ_5 zwischen $+150$ und $+155^\circ$.

Den Einspritzwinkeln δ_3 und δ_4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° sind jeweils Einspritzwinkel γ_3 ; γ'_3 und γ_4 ; γ'_4 zwischen 30° bis 39° bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet. (Vergleiche Figuren 4A und 4B.), wie noch erläutert wird.

In einer ersten Ausführungsform sind den Einspritzwinkeln δ_3 und δ_4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° jeweils Einspritzwinkel γ_3 und γ_4 von 30° bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet. (Vergleiche Figuren 4A und 4B.), wie noch erläutert wird.

In einer zweiten Ausführungsform sind den Einspritzwinkeln δ_3 und δ_4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis $\pm 155^\circ$ jeweils Einspritzwinkel γ'_3 und γ'_4 von 39° bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet. (Vergleiche Figuren 4A und 4B.)

Bezogen auf die Injektorachse X_{INJ} und die Injektorlängsachse Z_{INJ} kann somit im weiteren jeder Einspritzstrahl 1, 2, 3, 4, 5 im dreidimensionalen Raum definiert werden.

Die auslassseitigen, zündkerzenferneren Einspritzstrahlen 2 und 5 werden auch als mittlere Einspritzstrahlen 2 und 5 (vergleiche Figur 2B) bezeichnet, da sie gemäß der Z-Ansicht zwischen dem einlassseitigen Einspritzstrahl 1 und den auslassseitigen zündkerzennäheren Einspritzstrahlen 3 und 4 angeordnet sind. Die Nähe zur Zündkerze 106 wird in Bezug auf den δ -Winkel-Einstellbereich definiert. (Die Einspritzwinkel δ_2 und $\delta_5 = \pm 120^\circ$ sind gegenüber den Einspritzwinkeln δ_3 und δ_4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° weiter von der Zündkerze 106 entfernt.

Die X-Ansicht (Figuren 3A und 3B):

In einer Zusammenschau der Figuren 1 und 3A bis 3C wird die Lage der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} verdeutlicht, die erfindungsgemäß ausgehend von dem Punkt P (vergleiche Figur 2B) des Injektors INJ vertikal gesehen nicht im Mittelpunkt des Zylinders angeordnet ist.

Der Punkt P des Injektors INJ weist zu den Mittelpunkten M der Einlassventile 104A, 104B einen gleichen ersten Abstand auf und zu den Mittelpunkten der Auslassventile 105A, 105B (vergleiche Figur 2A) ebenfalls einen gleichen zweiten Abstand auf, wobei sich die Abstände unterscheiden, mithin ist der Punkt P (vergleiche auch Figuren 4A und 4B) außermittig zu der Längsmittelachse des Zylinders angeordnet.

Figur 3A zeigt in einer mehrere Ebenen y_{INJ}/z_{INJ} umfassenden X-Ansicht eine Seitenansicht auf den zweidimensional dargestellten Zylinder gemäß Figur 1 mit Blick aus x-Richtung von einer Seite auf den Zylinder ohne die Einspritzstrahlen.

In der Figur 3B sind die Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in einer zweidimensionalen Projektion auf eine y_{INJ}/z_{INJ} -Ebene eingeblendet.

In der Tabelle sind die derart projizierten Einspritzwinkel 1, 2, 3, 4, 5 aufgeführt.

Die in den Figuren 2A und 2B beschriebenen Einspritzwinkel δ_i ($i = 1$ bis 5) sind in den Figuren 3A und 3B übertragen, wobei jedem der Einspritzwinkel δ_i ($i = 1$ bis 5) der jeweils zugeordnete Winkel γ_i ; γ'_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) angegeben ist, der den Winkel zwischen der jeweiligen Längsmittelachse der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 und der Injektorlängsachse Z_{INJ} definiert.

Die Y-Ansicht (Figuren 4A und 4B):

Erste und zweite Ausführungsform:

In einer Zusammenschau der Figuren 1 und 4A bis 4C wird die Lage der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} verdeutlicht, die erfindungsgemäß ausgehend von dem Punkt P (vergleiche Figur 2B) des Injektors INJ vertikal gesehen nicht im Mittelpunkt des Zylinders angeordnet ist.

Der Punkt P des Injektors INJ weist zu den Mittelpunkten M der Einlassventile 104A, 104B einen gleichen ersten Abstand auf und zu den Mittelpunkten der Auslassventile 105A, 105B (vergleiche Figur 2A) ebenfalls einen gleichen zweiten Abstand auf, wobei sich die Abstände unterscheiden, mithin ist der Punkt P (vergleiche auch Figuren 4A und 4B) außermittig der Längsmittelachse des Zylinders angeordnet.

Figur 4A zeigt in einer mehrere Ebenen y_{INJ}/Z_{INJ} umfassenden Y-Ansicht eine Seitenansicht auf den zweidimensional dargestellten Zylinder gemäß Figur 1 mit Blick aus y-Richtung von einer Seite auf den Zylinder ohne die Einspritzstrahlen.

In der Figur 4B sind die Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in einer zweidimensionalen Projektion auf eine x_{INJ}/Z_{INJ} -Ebene eingeblendet.

Die Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 in den Figuren 4A und 4B sind gegenüber den Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 Figuren 3A und 3B um 90° um die Z-Achse (Längsmittelachse des Zylinders) nach rechts gedreht, dargestellt.

Erst in den Figuren 4A und 4B wird deutlich, dass die Injektorlängsachse Z_{INJ} um einen bestimmten Winkel Δz_{INJ} gegenüber der vertikal im Raum liegenden Z-Achse (Längsmittelachse des Zylinders) gekippt ist.

Die Injektorlängsachse Z_{INJ} ist gegenüber einer gedachten vertikalen Achse Z (vergleiche die Figuren 4A, 4B) im Ausführungsbeispiel in x -Richtung um $\Delta z_{\text{INJ}} = 5^\circ$ in Richtung der Auslassventile 105A, 105B geneigt.

Die Einspritzstrahlen 2 und 3 liegen somit in Figur 4B vor der $x_{\text{INJ}}/z_{\text{INJ}}$ -Ebene und die Einspritzstrahlen 4 und 5 liegen somit hinter der $x_{\text{INJ}}/z_{\text{INJ}}$ -Ebene, wobei die „weit aufgestellten“ Einspritzstrahlen 2 und 5 in der Y -Ansicht jeweils ganz vorne beziehungsweise ganz hinten und die Einspritzstrahlen 3 und 4 in der Y -Ansicht vorne beziehungsweise hinten liegen, so dass die beiden Einspritzstrahlen 3 und 4 zwischen den Strahlen 2 und 5 angeordnet sind.

In der Tabelle sind die auf die $x_{\text{INJ}}/z_{\text{INJ}}$ -Ebene projizierten Einspritzwinkel 1, 2, 3, 4, 5 aufgeführt.

Die in den Figuren 2A und 2B beschriebenen Einspritzwinkel δ_i ($i = 1$ bis 5) sind in den Figuren 4A und 4B übertragen, wobei jedem der Einspritzwinkel δ_i ($i = 1$ bis 5) der jeweils zugeordnete Winkel γ_i ; γ'_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) angegeben ist, der den Winkel zwischen der jeweiligen Längsmittelachse der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 und der Injektorlängsachse Z_{INJ} definiert.

Dem Einspritzwinkel $\delta_1 = 0^\circ$ des Einspritzstrahls 1 ist bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} ein Einspritzwinkel $\gamma_1 = 15^\circ$ zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta_2 = -120^\circ$ des Einspritzstrahls 2 ist bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} ein Einspritzwinkel γ_2 von 57° zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta_5 = +120^\circ$ des Einspritzstrahls 5 ist bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} ein Einspritzwinkel γ_5 von 57° zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta_3 = -150^\circ$ des Einspritzstrahls 3 ist in der ersten Ausführungsform ein Einspritzwinkel $\gamma_3 = +30^\circ$ bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta_4 = +150^\circ$ des Einspritzstrahls 4 ist in der ersten Ausführungsform ein Einspritzwinkel $\gamma_4 = +30^\circ$ bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta'_3 = -155^\circ$ des Einspritzstrahls 3 ist in der zweiten Ausführungsform ein Einspritzwinkel $\gamma'_3 = +39^\circ$ bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet.

Dem Einspritzwinkel $\delta'_4 = +155^\circ$ des Einspritzstrahls 4 ist in der zweiten Ausführungsform ein Einspritzwinkel $\gamma'_4 = +30^\circ$ bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet.

Es wird deutlich, dass die Ausrichtung der Einspritzstrahlen 3 und 4 bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} in Einspritzwinkeln γ_3 und γ'_3 beziehungsweise γ_4 und γ'_4 zwischen $+30^\circ$ und $+39^\circ$ erfolgt, worauf noch eingegangen wird.

Unabhängig von den gewählten Einspritzwinkeln (γ_3 und γ'_3 beziehungsweise γ_4 und γ'_4) im γ -Winkel-Einstellbereich der Einspritzstrahlen 3 und 4 zwischen $+30^\circ$ und $+39^\circ$ und den gewählten Einspritzwinkeln (δ_3 und δ_4) im δ -Winkel-Einstellbereich der Einspritzstrahlen 3 und 4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° liegen die Längsmittelachsen der Strahlenkeulen der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 erfindungsgemäß im Bereich der Auslassventile 105A, 105B und dabei im Wesentlichen gemäß der zweidimensionalen Projektion auf die x_{INJ}/Z_{INJ} -Ebene in einer Ebene, wie die Figur 4B am Besten verdeutlicht.

Ferner wird deutlich, dass ausschließlich die Längsmittelachse der Strahlenkeule des Einspritzstrahls 1 in den Bereich der Einlassventile 104A, 104 einspritzt. Mindestens ein Einspritzstrahl 1 ist notwendig, um bei der Einspritzung auch Kraftstoff in den einlassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einzuspritzen.

Die Wirkung und Vorteile der dargestellten Ausrichtung der Einspritzstrahlen 1, 2, 3, 4, 5 innerhalb des Brennraums des Zylinders:

Durch die Beschreibung wird deutlich, dass ausschließlich der Einspritzstrahl 1 (vergleiche Figuren 2A bis 2C und Figuren 4A bis 4C) in den einlassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders und die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 (vergleiche Figuren 2A bis 2C und 4A bis 4C) in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen. Durch diese Anordnung wird in vorteilhafter Weise der Effekt erzielt, dass Kraftstoff nicht direkt auf den Zylinderkolben 103 gespritzt wird, sondern in Richtung der auslassseitigen Zylinderwand 102 geführt wird, wobei die Verbrennungsluft durch die hohen Einspritzdrücke sehr fein zerstäubt wird und ohne gravierende Zylinderwandbenutzung zum Zylinderkolben 103 umgelenkt und von dort durch Reflexion an der Kolbenmulde des Zylinderkopfs 103 mit Hilfe der im Brennraum vorhandenen Ladungsbewegung an die auslassseitig angeordnete Zündkerze 106 geführt und entzündet wird.

Anhebung der Einspritzstrahlen 2 und 5 sowie 3 und 4:

Die Einspritzstrahlen 2 und 5 sowie die Einspritzstrahlen 3 und 4 werden innerhalb des Brennraums „geometrisch weiter aufgestellt“, das heißt „geometrisch angehoben“.

Mit der Formulierung „weiter aufgestellt“ wird ausgesagt, dass die jeweils zugehörige Längsachse der Einspritzstrahlen 2 und 5 über den erfindungsgemäßen Einspritzwinkel γ_2 und γ_5 von 57° bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} bei dem jeweiligen Einspritzwinkeln δ_2 und $\delta_5 = \pm 120^\circ$ weiter nach oben zum Zylinderdach 101 hin und somit weiter in den oberen Bereich der Zylinderwand 102 ausgerichtet sind, als es bei den Spraybildern von herkömmlichen Mehrloch-Einspritzdüsen der Fall ist.

Darüber hinaus wird die jeweils zugehörige Längsachse der Einspritzstrahlen 3 und 4 über den erfindungsgemäßen Einspritzwinkel γ_3 ; γ'_3 und γ_4 ; γ'_4 von 30° beziehungsweise 39° je nach Ausführungsform bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} bei den jeweiligen Einspritzwinkeln δ_3 und $\delta_4 = \pm 155^\circ$ ebenfalls nach oben zum Zylinderdach 101 hin und somit weiter in den oberen Bereich der Zylinderwand 102 ausgerichtet, mit anderen Worten, die erfindungsgemäßen Einspritzwinkel γ_3 ; γ'_3 und γ_4 ; γ'_4 sind nach oben zur Zündkerze 106 hin orientiert.

Dabei liegen die auslassseitigen Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 in der zweidimensionalen Projektion gemäß Figur 4B gemäß der Y-Ansicht im Wesentlichen in einer Ebene.

Die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 werden damit anders gesagt, tendenziell in z-Richtung gesehen mehr zur Zündkerze 106 hin ausgerichtet.

Die beschriebene erfindungsgemäße Anordnung der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 hat sich bisher als ungünstig herausgestellt, weil bei herkömmlichen Einspritzdrücken < 300 bar eine solche Ausrichtung der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 zu einer erhöhten Wandbenetzung der Zylinderwand 102 und in Folge zu einer erhöhten Schadstoffemission geführt hat. Bei Berechnungen hat sich jedoch der Effekt herausgestellt, dass der erwartete Nachteil bei einer sogenannten Hochdruckeinspritzung mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar zwischen 300 bar und 500 bar nicht vorliegt. Die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 sind derart angeordnet, dass sie normalerweise auf die Zylinderwand 102 auftreffen würden. Bei den vorliegenden hohen Drücken ≥ 300 bar wird der Kraftstoff jedoch zu besonders kleinen Partikeln zerstäubt. Es wurde in Versuchen festgestellt, dass die Zylinderwandbenetzung durch die Ausrichtung der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 nicht oder nicht gravierend zunimmt.

Insgesamt wurde festgestellt, dass durch die sehr feine Zerstäubung des Kraftstoffs bei Drücken über ≥ 300 bar und die Ladungsbewegung die Eindringtiefe der Einspritzstrahlen derart abnimmt, dass es hinsichtlich der unerwünschten Zylinderwandbenetzung nicht mehr von entscheidender Bedeutung ist, ob die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 mehr zur Kolbenmulde 103A hin oder mehr zum Randbereich 103B (wie die Einspritzstrahlen 3 und 4) oder sogar auf die Zylinderwand 102 (wie die Einspritzstrahlen 2 und 5) ausgerichtet sind. Mit anderen Worten es bildet sich in vorteilhafter Weise eine Tumbleströmung im Brennraum aus, die durch die geringere Eindringtiefe der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 und deren Wechselwirkung mit der Einlassströmung verstärkt wird, so dass die Zylinderwandbenetzung weitgehend vermieden wird.

Es wurde erkannt, dass es jetzt ohne Nachteile möglich ist, die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 geometrisch anzuheben und weiter als üblich aufzustellen, da die sonst vorliegenden Wandbenetzungsprobleme aufgrund der Abnahme der Verringerung der Eindringtiefe nicht mehr auftreten, so dass die damit einhergehenden positiven Effekte genutzt werden können.

Effekt der Verbesserung der Ladungsbewegung innerhalb des Brennraums des Zylinders:

In vorteilhafter Weise konnte jedoch festgestellt werden, dass die Ladungsbewegung im Brennraum des Zylinders durch die geometrische Anhebung der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 innerhalb des Brennraums in Abhängigkeit des eingesetzten Brennverfahrens (beispielsweise eines Miller-Brennverfahren) positiv beeinflusst werden kann.

Beispielsweise nimmt die Ladungsbewegung bei Brennverfahren, bei denen die Einlassventile 104A, 104B früh schließen, dass heißt vor dem unteren Totpunkt des Zylinderkolbens 103 schließen, wie es beispielsweise beim Miller-Brennverfahren der Fall ist, ab.

Jedoch wird ein bestimmtes Maß an Ladungsbewegung benötigt, um die Brenngeschwindigkeit im Brennraum positiv zu beeinflussen, das heißt möglichst optimal zu gestalten. Die Brenngeschwindigkeit im Brennraum muss nach dem Entzünden des Kraftstoffs mittels der Zündkerze 106 möglichst hoch sein beziehungsweise so hoch sein, damit eine abnormale Verbrennung im Brennraum, welche hochfrequente Druckschwankungen im Brennraum des Zylinders erzeugt, vermieden wird, somit also kein Klopfen auftritt.

In vorteilhafter Weise beeinflusst die zuvor vorgestellte geometrische Ausrichtung der 2, 3, 4, 5 Einspritzstrahlen mit ihren zugehörigen vorgeschlagenen Einspritzwinkeln die Ladungsbewegung dahingehend, dass die Ladungsbewegung zunimmt.

Normalerweise wird insbesondere im Teillastbetrieb die Drosselklappe geschlossen, wobei beim frühen Schließen der Einlassventile 105A, 105B wie beispielsweise beim Miller-Brennverfahren die Drosselklappe weiter geöffnet ist und dafür die Drosselung über die Einlassventile erfolgt.

Dadurch erfolgt ein Druckabfall über die Einlassventile 104A, 104B. Dadurch werden in bekannter Weise die Ladungswechselverluste verringert und der Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine 100 erhöht. Durch das frühere Schließen der Einlassventile 104A, 104B kommt es jedoch zu dem Nachteil, dass die Ladungsbewegung im Zylinder abnimmt, da die Einlassventile 104A, 104B frühzeitig geschlossen werden. Im Extremfall wird die Luftzuführung bei frühem Schließen der Einlassventile 104A, 104B so gering, dass es sogar zu Zündproblemen kommen kann. Die aus der Ladungsbewegung entstehenden Turbulenzen sind dann unzureichend, um einen optimalen Durchbrand des Kraftstoffs zu garantieren.

Dadurch, dass die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 innerhalb des Brennraums geometrisch weiter als aus dem Stand der Technik bekannt, nach oben ausgerichtet „weit aufgestellt“ sind, erzeugt die kinetische Energie der eingespritzten Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 innerhalb des Brennraums gemeinsam mit der angesaugten Luft eine zusätzliche Ladungsbewegung. Mit anderen Worten, die kinetische Energie der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 interagiert mit der angesaugten Luft, so dass die Ladungsbewegung zunimmt.

Durch die kinetische Energie der geometrisch in besonderer Weise angeordneten Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 und deren Wechselwirkungen mit der angesaugten Luft entsteht eine verstärkte Ladungsbewegung, die in der Kompression in Turbulenzenergie umgesetzt wird, die dafür sorgt, dass der Zündverzug beim Zünden des Kraftstoffs mittels der Zündkerze 106 gering und die Brenngeschwindigkeit hoch ist, wodurch ein Klopfen erfolgreich vermieden wird. Die tendenziell mehr zur Zündkerze 106 hin ausgerichteten Einspritzstrahlen 3, 4 unterstützen diesen Effekt.

Effekt der Verbesserung des Kaltstartverhaltens:

Insbesondere beim Betriebspunkt Kaltstart der Brennkraftmaschine 100, werden in bekannter Weise neben der Haupteinspritzung sehr späte Einspritzungen durchgeführt, die sogar nach dem Zündzeitpunkt liegen. Es wird in bekannter Weise dafür gesorgt, dass eine Umsetzung des Kraftstoffs durch die späte Einspritzung nicht vollständig in einer Kolben-Bewegung mündet, sondern zu einer Temperaturerhöhung im Brennraum und damit zu einer Erhöhung der Abgastemperatur führt. Durch die Erhöhung der Abgastemperatur wird in der Kaltstartphase ein schnellerer und optimalerer Betrieb des in der Abgasanlage angeordneten Katalysators erreicht.

Durch die beschriebene geometrische Anhebung der Einspritzstrahlen 3, 4 wird bewirkt, dass insbesondere bei der späten Nacheinspritzung an der Zündkerze ein fettes Gemisch vorliegt.

Die Erfindung eröffnet gemäß den beiden Ausführungsformen die Möglichkeit, je nachdem, welcher Winkel γ_3 ; γ_4 (erste Ausführungsform) beziehungsweise γ'_3 , γ'_4 (zweite Ausführungsform) ausgewählt wird, dass die Einspritzstrahlen 3, 4 mehr zur Zündkerze 106 hin ausgerichtet sind, so dass im Kaltstartbetrieb ein fetteres Gemisch an der Zündkerze 106 vorliegt.

Bei der zweiten Ausführungsform sind den Einspritzwinkeln δ_3 und δ_4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° jeweils Einspritzwinkel γ'_3 und γ'_4 von 39° bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} zugeordnet, vergleiche Figuren 4A und 4B, das heißt die Einspritzstrahlen 3 und 4 werden gegenüber der ersten Ausführungsform weiter an die Zündkerze 106 herangeführt.

Das heißt, die Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5, insbesondere die hinsichtlich des δ -Winkel-Einstellbereichs der Einspritzstrahlen 3 und 4 zwischen $\pm 150^\circ$ bis 155° am nächsten zur Zündkerze 106 liegenden Einspritzstrahlen 3 und 4 (vergleiche) werden zur Verbesserung des Katalysator-Heizens weiter in Richtung Zylinderwand 102 je nach Ausführungsform weiter in Richtung der Zündkerze 106 angehoben. Wie bereits erläutert, erfolgt trotz der geometrischen Anhebung nach der ersten und zweiten Ausführungsform bei den hohen Drücken ≥ 300 bar keine gravierende Zunahme der Zylinderwandbenetzung.

Anordnung des Einspritzstrahls 1 in einem bestimmten Bereich:

Die bevorzugte Ausrichtung des Einspritzstrahls 1 wurde bereits erläutert. Dem Einspritzwinkel $\delta_1 = 0^\circ$ ist bezogen auf die Injektorlängsachse Z_{INJ} ein einlassseitiger Einspritzwinkel $\gamma_1 = 15^\circ$ zugeordnet. Vergleiche Figuren 4A und 4B.

Prinzipiell kann der Einspritzstrahl 1 gegenüber der definierten X_{INJ} -Achse – bevorzugt in einem δ -Winkel-Einstellbereich zwischen $\pm 45^\circ$ und - gegenüber der definierten Z_{INJ} -Achse - in einem γ -Winkel-Einstellbereich zwischen 0° und 65° , beziehungsweise in dem in diesem Grenzen aufgespannten dreidimensionalen Raum innerhalb des Brennraums angeordnet sein. Die beschriebenen Effekte werden insbesondere durch die Ausrichtung der auslassseitigen Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 bewirkt.

Anordnung der Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 in einem bestimmten Bereich:

Es wurde festgestellt, dass die auslassseitigen Einspritzstrahlen 2, 3, 4, 5 in der zweidimensionalen Projektion gemäß Figur 4B gemäß der Y-Ansicht im Wesentlichen in einem bevorzugten Bereich orientiert sind.

Dieser Bereich wird durch die mittleren, zündkerzenfernen Einspritzstrahlen 2 und 5 begrenzt, zwischen denen je nach Ausführungsform die zündkerzennahen Einspritzstrahlen 3 und 4 angeordnet sind.

Die vorherige Beschreibung gilt für eine Fünfloch-Einspritzdüse.

Diese Beschreibung gilt jedoch auch für eine Sechslloch-Einspritzdüse, die sich dadurch auszeichnet, dass der Einspritzstrahl 1 in zwei hinsichtlich der X_{INJ} -Achse symmetrische Einspritzstrahlen (nicht dargestellt) aufgeteilt wird. Der Einspritzwinkel δ_1 ist dann nicht wie im Ausführungsbeispiel $= 0^\circ$, sondern beispielsweise jeweils 25° oder dergleichen.

Wird eine Siebenloch-Einspritzdüse ausgebildet, so wird ausgehend von der Sechslloch-Einspritzdüse den auslassseitigen Einspritzstrahlen 2 bis 5 symmetrisch ein weiterer Einspritzstrahl zugeordnet, die insgesamt in dem genannten erfindungsgemäßen δ -Winkel-Einstellbereich zwischen $\pm 120^\circ$ gegenüber der definierten X_{INJ} -Achse und dem γ -Winkel-Einstellbereich zwischen 30° und 57° gegenüber der definierten Z_{INJ} -Achse, beziehungsweise in dem in diesen Grenzen aufgespannten dreidimensionalen Raum innerhalb des Brennraums liegen.

Es versteht sich, dass die Düsenlöcher einer Mehrloch-Einspritzdüse gleiche Öffnungsquerschnitte oder unterschiedliche Öffnungsquerschnitte aufweisen, so dass bei einem vorgegebenen Druck über die Düsenlöcher gleiche Einspritzmengen oder unterschiedliche

Einspritzmengen eingespritzt werden können, so dass die Kraftstoffmenge, die einlassseitig und auslassseitig eingespritzt wird, variiert werden kann.

Bezugszeichenliste

100	Brennkraftmaschine
101	Zylinderdach
102	Zylinderwand
103	Zylinderkolben
103A	Vertiefung (Kolbenmulde)
103B	Randbereich (Kolbenrand)
104A	erstes Einlassventil
104B	zweites Einlassventil
105A	erstes Auslassventil
105B	zweites Auslassventil
M	Mittelpunkte der Ein- und Auslassventile
106	Zündkerze
INJ	Injektor (Mehrloch-Einspritzdüse)
P	Punkt
1	Einspritzstrahl
2	Einspritzstrahl
3	Einspritzstrahl
4	Einspritzstrahl
5	Einspritzstrahl
$i = 1, 2, 3, 4, 5$	Anzahl Einspritzstrahlen
δ	Winkel-Einstellbereich bezüglich der Normalebene x_{INJ}/y_{INJ}
$\delta_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$	Einspritzwinkel bezogen auf die z_{INJ} Injektorachse n x-Richtung
γ	Winkel-Einstellbereich
$\gamma_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$	Einspritzwinkel bezogen auf die z_{INJ} Injektorlängsachse in x-Richtung
γ_3, γ'_3	Einspritzwinkel des dritten Einspritzstrahls in einer ersten und zweiten Ausführungsform
γ_4, γ'_4	vierter Einspritzwinkel des vierten Einspritzstrahls in einer ersten und zweiten Ausführungsform
X_{INJ}	Injektorachse in x-Richtung
Y_{INJ}	Injektorachse in y-Richtung
Z_{INJ}	Injektorlängsachse in z-Richtung
Z	vertikale z-Achse im Raum (Längsmittelachse des Zylinders)

ΔZ_{INJ}	Neigungswinkel der Injektorlängsachse Z_{INJ} gegenüber der Z-Achse
$x_{\text{INJ}}/y_{\text{INJ}}$ -Ebene	Injektorebene (Normalbene)
$y_{\text{INJ}}/z_{\text{INJ}}$ -Ebene	Injektorebene orthogonal zur $x_{\text{INJ}}/y_{\text{INJ}}$ -Ebene
$x_{\text{INJ}}/z_{\text{INJ}}$ -Ebene	Injektorebene orthogonal zur $x_{\text{INJ}}/y_{\text{INJ}}$ -Ebene

Patentansprüche

1. Brennkraftmaschine (100) mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach (101), einer Zylinderwand (102) und einem beweglichen Zylinderkolben (103) begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach (101) eine Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) und eine Zündkerze (106) in zentraler Lage angeordnet sind, wobei die Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) über mehrere Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum einspritzt, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Einspritzstrahl ($i \geq 1$) Kraftstoff in einen dreidimensionalen Raum innerhalb des einlassseitigen Brennraums einspritzt, der in Richtung der Längsmittelachse (Z) des Zylinders gesehen, unterhalb einer Öffnung mindestens eines Einlassventiles (104A, 104B) liegt, und mindestens vier Einspritzstrahlen ($i \geq 4$) Kraftstoff in einen dreidimensionalen Raum des auslassseitigen Brennraums einspritzen, der in Richtung der Längsmittelachse (Z) des Zylinders unterhalb einer Öffnung mindestens eines Auslassventiles (105A, 105B) liegt, wobei der dreidimensionale Raum durch einen δ -Winkel-Einstellbereich und einen γ -Winkel-Einstellbereich der Einspritzwinkel (δ_i ; γ_i) der mindestens fünf Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) definiert ist, wobei den Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) zur Bestimmung der dreidimensionalen Lage im dreidimensionalen Raum je ein Einspritzwinkel (δ_i) zugeordnet ist, der als Winkel gegenüber einer Injektorachse (X_{INJ}) definiert ist, wobei die dem Einspritzwinkel (δ_i) zugeordnete Injektorachse (X_{INJ}) mit einer weiteren orthogonal dazu angeordneten Injektorachse (X_{INJ}) eine aufgespannte Normalebene (x_{INJ} ; y_{INJ}) bildet, wobei jedem Einspritzstrahl ($i \geq 5$) ferner ein Einspritzwinkel (γ_i) zugeordnet ist, der als Winkel gegenüber einer Injektorlängsachse (Z_{INJ}) definiert ist, die orthogonal zu der Normalebene (x_{INJ} ; y_{INJ}) verläuft, wobei die Einspritzwinkel (δ_i) der mindestens vier auslassseitigen Einspritzstrahlen ($i \geq 4$) gegenüber der definierten Injektorachse (X_{INJ}) in einem Winkel-Einstellbereich (δ) zwischen $\pm 100^\circ$ und $\pm 170^\circ$ zur i ja (X_{INJ}) und gegenüber der definierten Injektorlängsachse (Z_{INJ}) in einem Winkel-Einstellbereich (γ) zwischen 25° und 75° orientiert sind.
2. Brennkraftmaschine (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass je zwei der vier Einspritzstrahlen (2, 5; 3, 4) symmetrisch zur definierten Injektorachse (X_{INJ}) der Normalebene (x_{INJ} ; y_{INJ}) angeordnet sind.

3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Einspritzstrahl (2) bezüglich der Normalebene zwischen einem ersten Einspritzstrahl (1) und einem dritten Einspritzstrahl (3) und ein fünfter Einspritzstrahl (5) bezüglich der Normalebene zwischen dem ersten Einspritzstrahl (1) und dem vierten Einspritzstrahl (4) angeordnet ist.
4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Einspritzwinkel (δ_1) des Einspritzstrahls (1) bezüglich der Normalebene = 0° beträgt und der Einspritzwinkel (γ_1) bezüglich der Injektorlängsachse (Z_{INJ}) = 15° beträgt, wodurch der Einspritzstrahl (1) in Richtung des Zylinderkolbens (103) in den einlassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzt.
5. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzwinkel (δ_2 ; δ_5) der Einspritzstrahlen (2, 5) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (δ) bezüglich der Normalebene = $\pm 120^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel (γ_1 ; γ_5) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (γ) bezüglich der Injektorlängsachse (Z_{INJ}) = 57° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen (2, 5) im Wesentlichen in Richtung der Zylinderwand (102) in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.
6. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzwinkel (δ_3 ; δ_4) der Einspritzstrahlen (3, 4) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (δ) bezüglich der Normalebene = $\pm 150^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel (γ_3 ; γ_4) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (γ) bezüglich der Injektorlängsachse (Z_{INJ}) = 30° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen (3, 4) in den Bereich zwischen Zylinderkolben (103) und Zylinderwand (102) in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.
7. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzwinkel (δ'_3 ; δ'_4) der Einspritzstrahlen (3, 4) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (δ) bezüglich der Normalebene = $\pm 155^\circ$ betragen und die Einspritzwinkel (γ'_3 ; γ'_4) innerhalb des Winkel-Einstellbereichs (γ) bezüglich der Injektorlängsachse (Z_{INJ}) = 39° betragen, wodurch die Einspritzstrahlen (3, 4) in Richtung der Zylinderwand (102) in den auslassseitigen Bereich des Brennraums des Zylinders einspritzen.
8. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Injektorlängsachse (Z_{INJ}) des Injektors (INJ) in der zentralen Injektor-Einbaulage

Injektorlage gegenüber einer vertikalen Achse z um einen Neigungswinkel (ΔZ_{INJ}) zwischen 0° und 15° in Richtung der Auslassventile (105A, 105B), insbesondere um einen Neigungswinkel (ΔZ_{INJ}) = 5° geneigt ist.

9. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (100) mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach (101), einer Zylinderwand (102) und einem beweglichen Zylinderkolben (103) begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach (101) eine Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) und eine Zündkerze (106) in zentraler Lage angeordnet sind, wobei über die die Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) über mehrere Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum eingespritzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) eine Ladungsbewegung innerhalb des Brennraums zunimmt, die durch die kinetische Energie der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) und deren Wechselwirkungen mit der Einlassströmung hervorgerufen wird.
10. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (100) mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach (101), einer Zylinderwand (102) und einem beweglichen Zylinderkolben (103) begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach (101) eine Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) und eine Zündkerze (106) in zentraler Lage angeordnet sind, wobei über die die Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) über mehrere Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum eingespritzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) innerhalb des Brennraums eine Strömungswalze (Tumble) des Kraftstoffs/Luft-Gemischs erzeugt wird, die durch die kinetische Energie der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) unterstützt wird, wobei die auslasseitigen Einspritzstrahlen ($i \geq 4$) mit geringer Eindringtiefe in die Strömungswalze eindringen und der Kraftstoffs durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar fein zerstäubt wird, wobei die Strömungswalze über den Zylinderkolben (104) in den einlasseitigen Bereich und schließlich zu dem mindestens einen einlasseitigen Einspritzstrahl ($i \geq 1$) geführt wird.

11. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (100) mit mindestens einem einen Brennraum aufweisenden Zylinder, wobei der Brennraum von einem Zylinderdach (101), einer Zylinderwand (102) und einem beweglichen Zylinderkolben (103) begrenzt ist, wobei in dem Zylinderdach (101) eine Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) und eine Zündkerze (106) in zentraler Lage angeordnet sind, wobei über die die Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) über mehrere Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) Kraftstoff mit Einspritzdrücken ≥ 300 bar in den Brennraum eingespritzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Orientierung der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 und durch den hohen Einspritzdruck ≥ 300 bar der Einspritzstrahlen ($i \geq 5$) der Mehrloch-Einspritzdüse (INJ) innerhalb des Brennraums ein Entzünden des Kraftstoffs mittels der Zündkerze (106) verbessert wird, da die auslassseitigen Einspritzstrahlen ($i \geq 4$) gemäß mindestens einem der Ansprüche 3 bis 7 zur Zündkerze (106) hin orientiert angeordnet sind.
12. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren bei Brennverfahren eingesetzt wird, bei denen das mindestens eine Einlassventil (104A, 104B) bereits geschlossen wird, bevor der Zylinderkolben (103) den unteren Tiefpunkt (UT) erreicht.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren innerhalb des Miller-Brennverfahrens für eine Otto-Brennkraftmaschine eingesetzt wird.

1/4

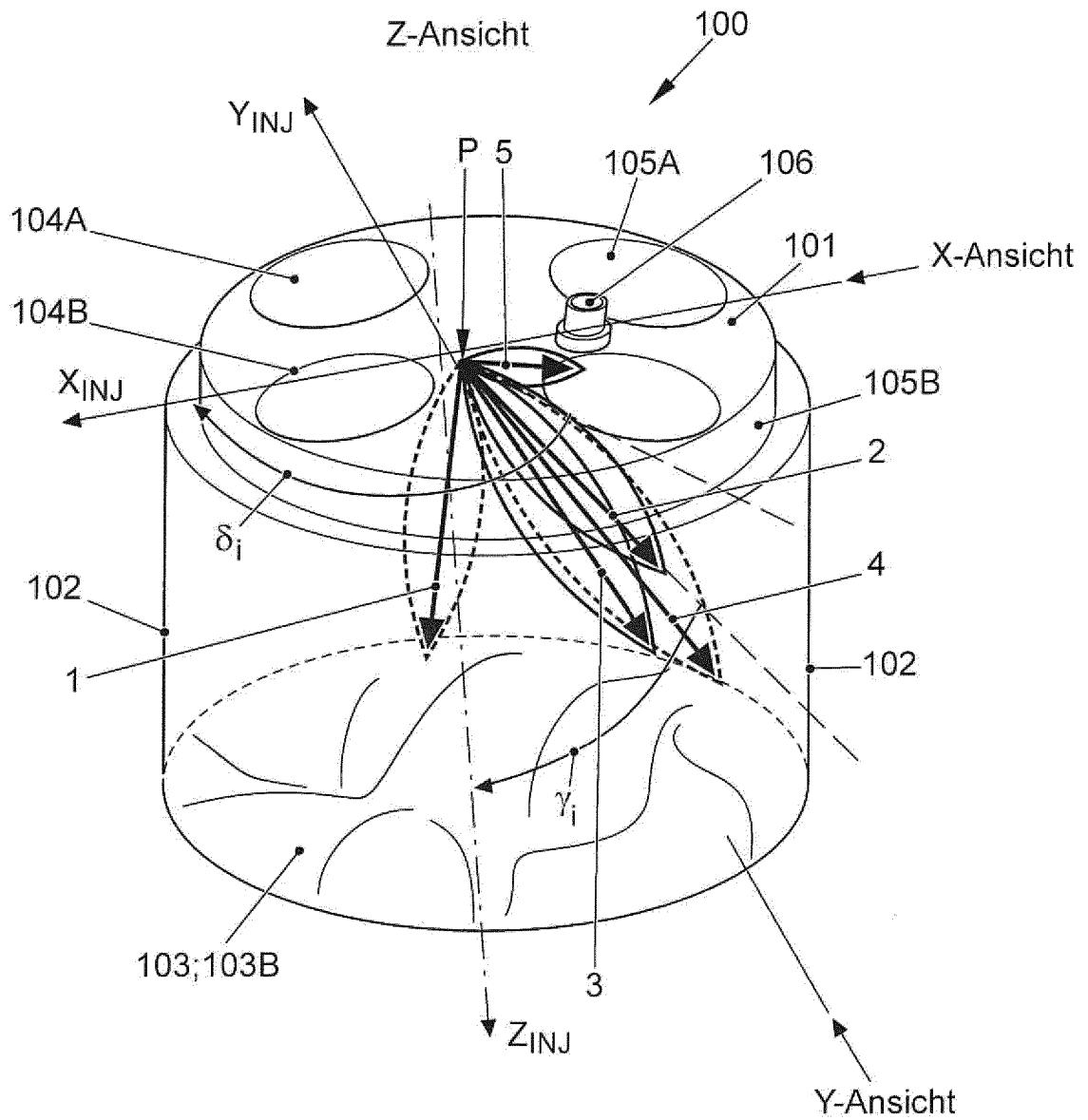


FIG. 1

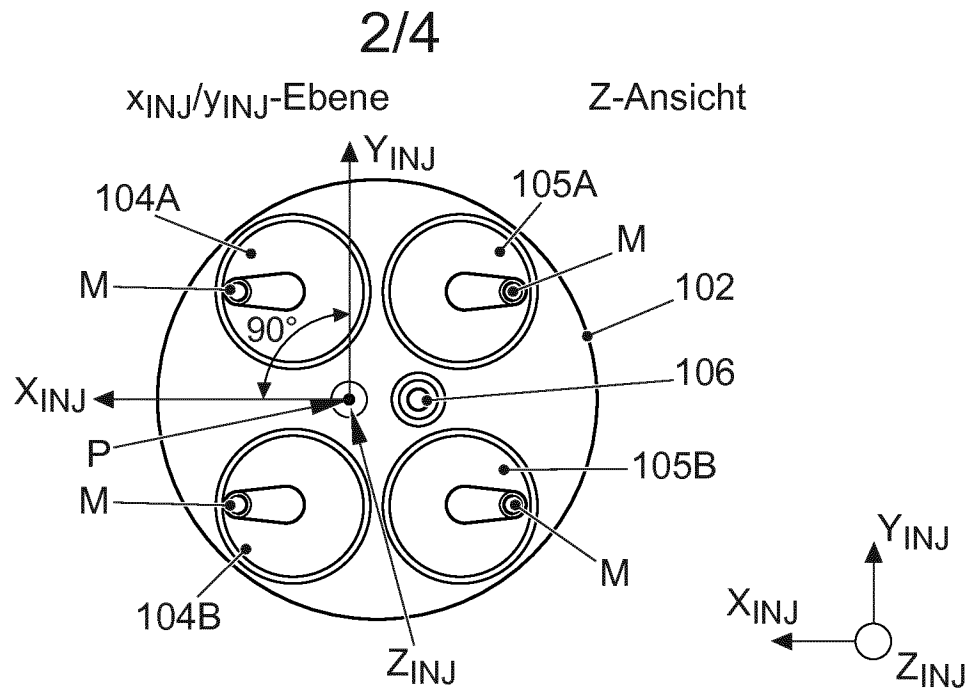


FIG. 2A

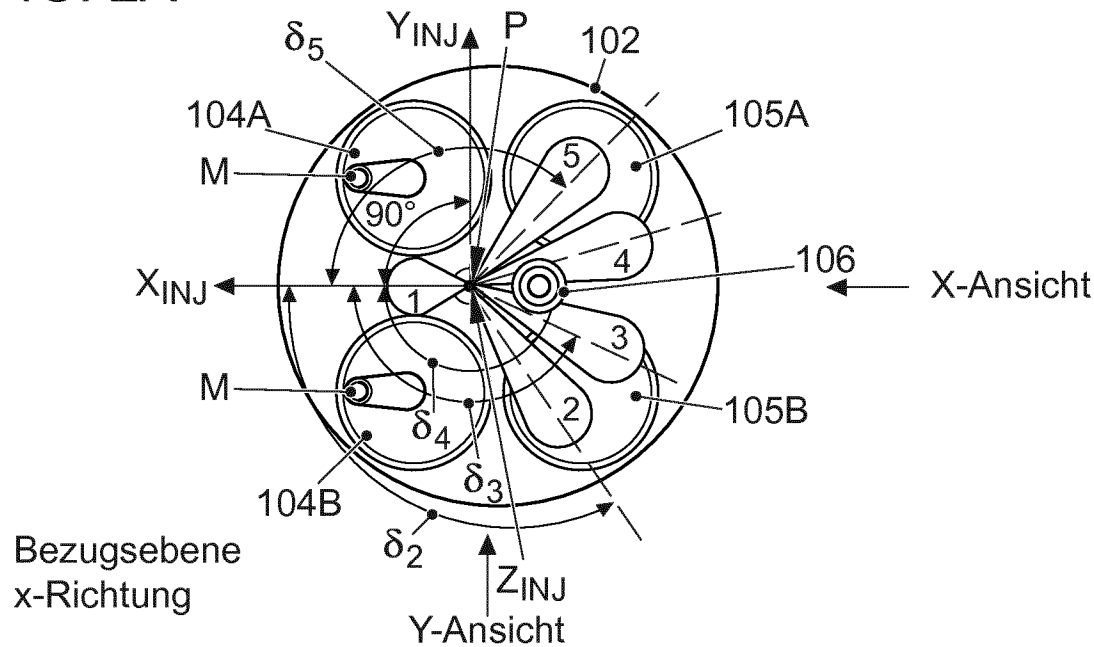


FIG. 2B

δ_1	0°
γ_1	15°
$\delta_2; \delta_5$	$\pm 120^\circ$
$\gamma_2; \gamma_5$	57°
$\delta_3; \delta_4$	$\pm (150^\circ - 155^\circ)$
$\gamma_3; \gamma_4$	$30^\circ (30^\circ - 39^\circ)$
$\gamma'_3; \gamma'_4$	$39^\circ (30^\circ - 39^\circ)$

FIG. 2C

3/4

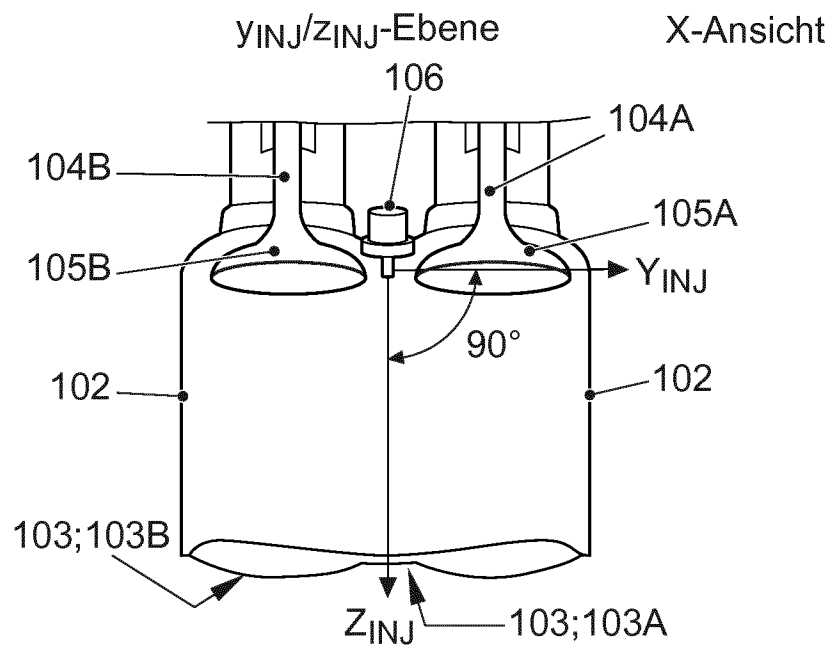


FIG. 3A

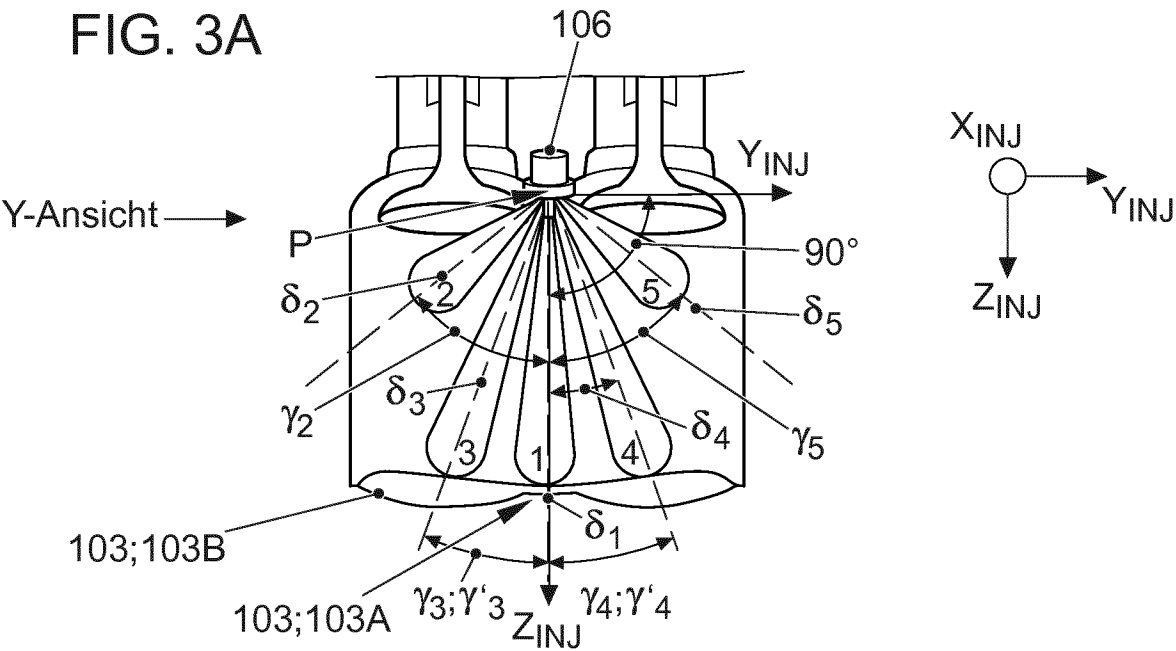


FIG. 3B

δ_1	0°
γ_1	15°
$\delta_2; \delta_5$	$\pm 120^\circ$
$\gamma_2; \gamma_5$	57°
$\delta_3; \delta_4$	$\pm (150^\circ - 155^\circ)$
$\gamma_3; \gamma_4$	$30^\circ (30^\circ - 39^\circ)$
$\gamma'_3; \gamma'_4$	$39^\circ (30^\circ - 39^\circ)$

FIG. 3C

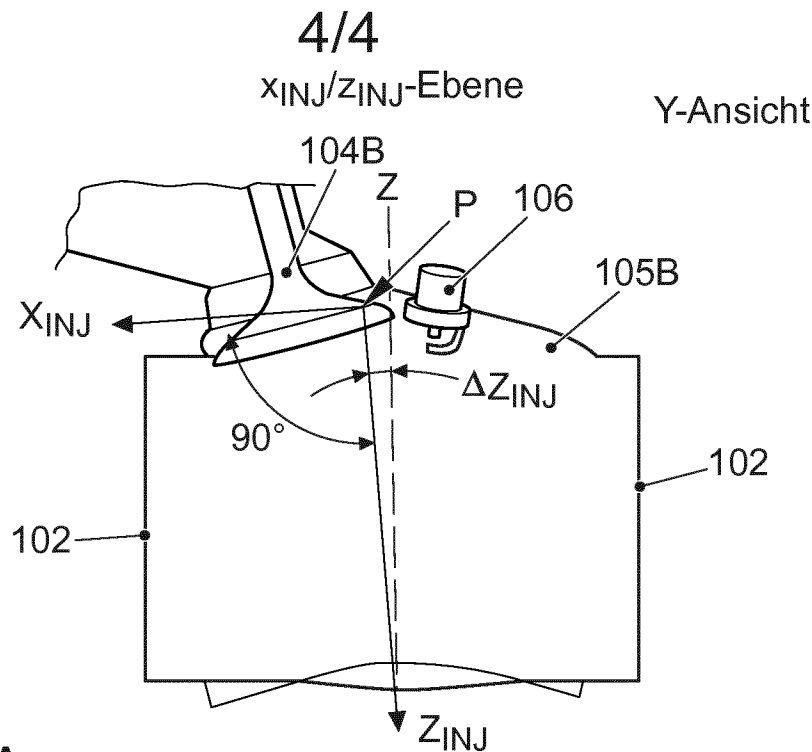


FIG. 4A

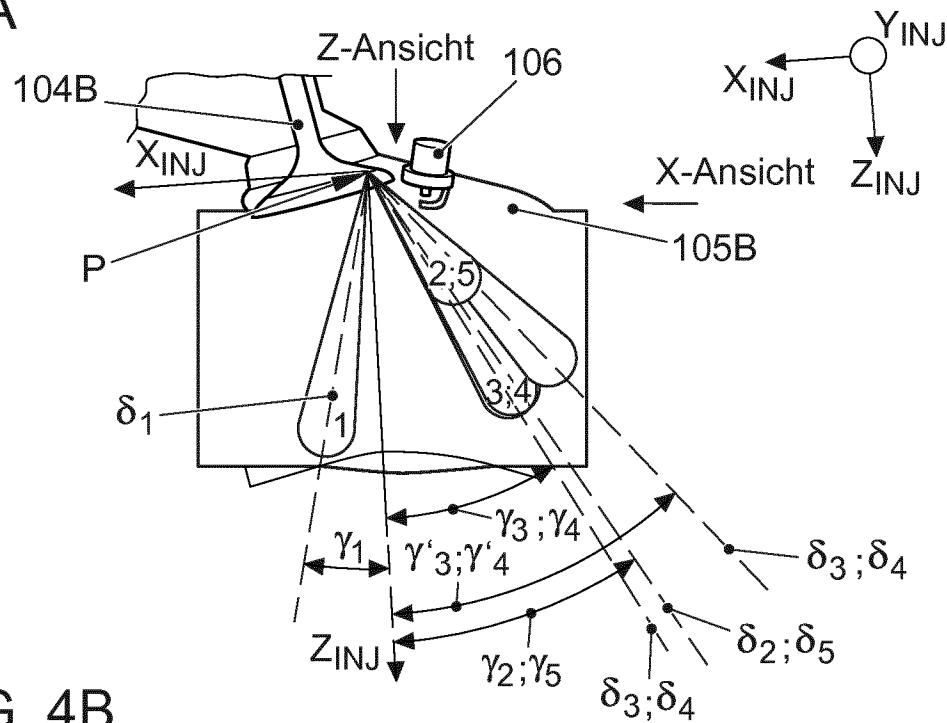


FIG. 4B

δ_1	0°
γ_1	15°
$\delta_2;\delta_5$	$\pm 120^\circ$
$\gamma_2;\gamma_5$	57°
$\delta_3;\delta_4$	$\pm (150^\circ-155^\circ)$
$\gamma_3;\gamma_4$	$30^\circ(30^\circ-39^\circ)$
$\gamma'_3;\gamma'_4$	$39^\circ(30^\circ-39^\circ)$

FIG. 4C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/057913

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02M61/18 F02B23/10 F02B75/12
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)

F02M F02B

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2015 205837 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 26 November 2015 (2015-11-26) paragraph [0063] - paragraph [0072]; figures 2a,2b abstract	1-11
X	DE 10 2009 002323 A1 (DENSO CORP [JP]) 10 December 2009 (2009-12-10) paragraph [0056] - paragraph [0059]; figures 19,21 abstract	1-11
A	WO 2012/045850 A2 (AVL LIST GMBH [AT]; KAPUS PAUL [AT]; OGRIS MARTIN [AT]; VIDMAR KHAI [A]) 12 April 2012 (2012-04-12) the whole document	1-13



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 application or patent but published on or after the international filing date

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 May 2018

Date of mailing of the international search report

06/06/2018

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

Hermens, Sjoerd

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/057913

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102015205837 A1	26-11-2015	NONE	

DE 102009002323 A1	10-12-2009	DE 102009002323 A1	10-12-2009
		JP 2009293443 A	17-12-2009

WO 2012045850 A2	12-04-2012	AT 508578 A2	15-02-2011
		DE 112011103383 A5	11-07-2013
		WO 2012045850 A2	12-04-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F02M61/18 F02B23/10 F02B75/12 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02M F02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2015 205837 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 26. November 2015 (2015-11-26) Absatz [0063] - Absatz [0072]; Abbildungen 2a, 2b Zusammenfassung	1-11
X	DE 10 2009 002323 A1 (DENSO CORP [JP]) 10. Dezember 2009 (2009-12-10) Absatz [0056] - Absatz [0059]; Abbildungen 19, 21 Zusammenfassung	1-11
A	WO 2012/045850 A2 (AVL LIST GMBH [AT]; KAPUS PAUL [AT]; OGRIS MARTIN [AT]; VIDMAR KHAI [A]) 12. April 2012 (2012-04-12) das ganze Dokument	1-13
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
30. Mai 2018		06/06/2018
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 Hermens, Sjoerd

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/057913

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015205837 A1	26-11-2015	KEINE	

DE 102009002323 A1	10-12-2009	DE 102009002323 A1	10-12-2009
		JP 2009293443 A	17-12-2009

WO 2012045850 A2	12-04-2012	AT 508578 A2	15-02-2011
		DE 112011103383 A5	11-07-2013
		WO 2012045850 A2	12-04-2012
