



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/157382**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 006 654.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/039515**
(86) PCT-Anmeldetag: **24.10.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.08.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **28.11.2024**

(51) Int Cl.: **F02B 19/12 (2006.01)**
F02B 19/02 (2006.01)
F02D 41/34 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
PCT/JP2022/005817 15.02.2022 JP

(71) Anmelder:
**Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha, Iwata-shi,
Shizuoka, JP**

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373
München, DE**

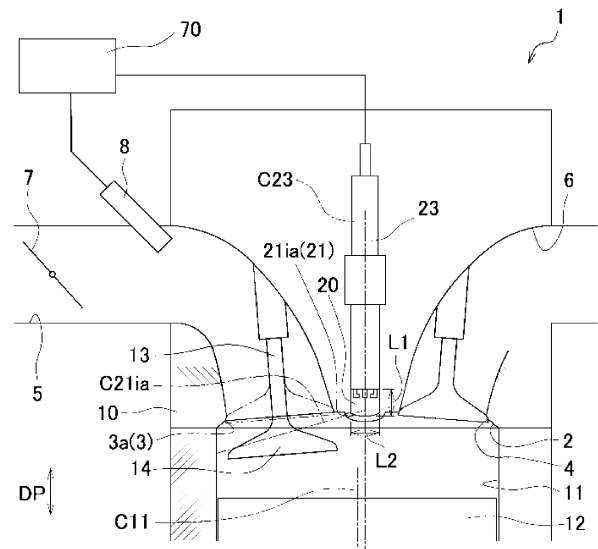
(72) Erfinder:
Egashira, Shuichi, Iwata-shi, Shizuoka, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorkammer (20) eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors (1) ist so gebildet, dass von der Länge (L1) des Innenraums der Vorkammer in einer Zündkerzen-Axialrichtung (DP) einer Vorkammer-Zündkerze (23) und der maximalen Länge (L2) des Innenraums der Vorkammer in einer Richtung senkrecht zu der Zündkerzen-Axialrichtung (DP) die längere Länge zweimal die kürzere Länge ist. Eine Mehrzahl von Verbindungsbohrungen (21), die es ermöglichen, den Innenraum eines Hauptbrennraums (2) mit dem Innenraum der Vorkammer (20) zu verbinden, umfassen eine erste Ansaugbohrung (21ia). In der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, bildet ein Liniensegment (LSa), das die Mittelachse (C23) der Vorkammer-Zündkerze mit der Mitte (C3a) einer ersten Ansaugöffnung (3a) verbindet, einen Winkel θ mit der Mittelachse (C21ia) der ersten Ansaugbohrung und der Winkel θ erfüllt die Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta < 17 \text{ Grad}$. In einem Querschnitt entlang einer Ebene parallel zu der Mittelachse (C11) einer Zylinderbohrung (11), und der die Mittelachse der ersten Ansaugbohrung enthält, verläuft die Mittelachse der ersten Ansaugbohrung zwischen der ersten Ansaugbohrung und einem Ventilkopf (14) eines Ansaugventils wenn das Ansaugventil, das die erste Ansaugöffnung öffnet und schließt, offen ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Lehre bezieht sich auf einen Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor, der einen Hauptbrennraum und eine Vorkammer umfasst.

Hintergrundtechnik

[0002] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor, der einen Hauptbrennraum und eine Vorkammer aufweist, die durch Verbindungsbohrungen miteinander in Verbindung stehen, ist bekannt wie beispielsweise in Patentliteratur 1 dargestellt. Ein Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Vorkammer wird durch eine Zündkerze gezündet. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor von Patentliteratur 1 umfasst kein Vorkammer-Kraftstoffeinspritzventil, ausgebildet zum Einspritzen von Kraftstoff in die Vorkammer, sondern umfasst ein Ansaugleitungs-Einspritzventil, ausgebildet zum Einspritzen von Kraftstoff in eine Ansaugleitung. Das Ansaugleitungs-Einspritzventil von Patentliteratur 1 wird so gesteuert, dass im Hauptbrennraum ein Luft-Kraftstoff-Gemisch mit einem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis oder einem fetteren Luft-Kraftstoff-Verhältnis als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis erzeugt wird.

Referenzliste

Patentliteratur

[0003] Patentliteratur 1 US-Patent Nr. 10612454

Zusammenfassung

Technische Aufgabe

[0004] Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor von Patentliteratur 1 umfasst eine Hilfszündkerze (Zündunterstützungsvorrichtung), die so ausgebildet ist, dass sie die Zündung des Luft-Kraftstoff-Gemischs im Hauptbrennraum unterstützt. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor von Patentliteratur 1 umfasst eine Hilfszündkerze, um eine Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen. Aus diesem Grund ist es schwierig, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen, wenn keine Hilfszündkerze (Zündunterstützungsvorrichtung) zur Verfügung steht.

[0005] Eine Aufgabe der vorliegenden Lehre besteht darin, einen Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor zu schaffen, der in der Lage ist, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten ohne eine Zündunterstützungsvorrichtung sicherzustellen.

Technische Lösung

[0006] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre weist die folgenden Merkmale auf.

[0007] Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor umfasst: einen Hauptbrennraum, der wenigstens eine Ansaugöffnung, an die eine Ansaugleitung angeschlossen ist, und wenigstens eine Abgasöffnung, an die eine Abgasleitung angeschlossen ist, umfasst: eine Drosselklappe, die so ausgebildet ist, dass sie eine Luftmenge anpasst, die durch die Ansaugleitung strömt und in den Hauptbrennraum gesaugt wird; ein Ansaugleitungs-Einspritzventil, das so ausgebildet ist, dass es in das Innere der Ansaugleitung flüssigen Kraftstoff einspritzt, bei dem es sich um Benzinkraftstoff, Alkoholkraftstoff oder eine Mischung aus Benzin und Alkohol handelt; eine Vorkammer, die in einem Zylinderkopf so gebildet ist, dass sie ein kleineres Volumen als der Hauptbrennraum aufweist und einen Innenraum aufweist, der mit einem Innenraum des Hauptbrennraums durch Verbindungsbohrungen in Verbindung steht und zu dem eine Vorkammer-Zündkerze teilweise freiliegt; und ein Steuergerät, das so ausgebildet ist, dass es das Ansaugleitungs-Einspritzventil und die Vorkammer-Zündkerze steuert. (a) Das Steuergerät steuert das Ansaugleitungs-Einspritzventil so, dass wenigstens in einem Teil eines Niedriglastbereichs, in dem der Öffnungsgrad der Drosselklappe klein ist, eine Einspritzung von flüssigem Kraftstoff beendet wird, bevor der Mittelpunkt zwischen einem oberen Abgas-Totpunkt und einem unteren Ansaug-Totpunkt erreicht wird, und ein Luft-Kraftstoff-Gemisch, das in der Ansaugleitung und im Hauptbrennraum gemischt wird, entweder ein erstes Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufweist, bei dem das Luft-

Kraftstoff-Gemisch nach der Verbrennung durch einen Dreibegekatalsator verarbeitbar ist, oder ein zweites Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das fetter ist als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis. (b) Der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor weist kein Vorkammer-Kraftstoffeinspritzventil auf, das so ausgebildet ist, dass es Kraftstoff in die Vorkammer einspritzt, und der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor weist keine Zündunterstützungsvorrichtung auf, die so ausgebildet ist, dass sie die Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Vorkammer oder im Hauptbrennraum unterstützt. (c) Um das Verhältnis der Fläche einer Innenfläche der Vorkammer zum Volumen der Vorkammer zu reduzieren, (i) weist die Innenfläche der Vorkammer mit Ausnahme der Vorkammer-Zündkerze keinen Vorsprung auf, und (ii) ist die längere von der Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Zündkerzen-Axialrichtung parallel zur mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze und der maximalen Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung kürzer als das Doppelte der kürzeren der Längen. (d) Um zu erleichtern, dass der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff von einer ersten Ansaugöffnung von der wenigstens einen Ansaugöffnung durch eine erste Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen in die Vorkammer eingeleitet wird, ist die erste Ansaugöffnung so gebildet, dass (i) bei Betrachtung in der Zündkerzen-Axialrichtung ein Winkel θ zwischen einem Liniensegment, das die mittige axiale Linie der Vorkammer-Zündkerze mit der Mitte der ersten Ansaugöffnung verbindet, und der mittigen axialen Linie der ersten Ansaugbohrung eine Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta < 17 \text{ Grad}$ erfüllt, und (ii) wenn ein Ansaugventil, das ausgebildet ist, die erste Ansaugöffnung zu öffnen und zu schließen, und die erste Ansaugöffnung geöffnet ist, in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie einer Zylinderbohrung ist, die den Hauptbrennraum bildet, und die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung zwischen einem Ventilkopf des Ansaugventils und der ersten Ansaugöffnung verläuft.

[0008] Bei dieser Anordnung ist mit Ausnahme der Vorkammer-Zündkerze kein Vorsprung an der Innenfläche der Vorkammer gebildet. Ferner ist die längere von der Länge des Innenraums der Vorkammer in der Zündkerzen-Axialrichtung und der maximalen Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung kürzer als das Doppelte der kürzeren. Durch diese zwei Merkmale wird das Verhältnis der Fläche der Innenfläche der Vorkammer zum Volumen der Vorkammer reduziert.

[0009] In einer Richtung parallel zur Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet erfüllt ein Winkel θ , der zwischen der mittigen axialen Linie der ersten Ansaugbohrung, die eine der Verbindungsbohrungen ist, und dem Liniensegment, das die mittige axiale Linie der Vorkammer-Zündkerze mit der Mitte der ersten Ansaugöffnung verbindet, die Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta < 17 \text{ Grad}$. Wenn das Ansaugventil, das zum Öffnen und Schließen der ersten Ansaugöffnung angeordnet ist, geöffnet ist, verläuft in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie der Zylinderbohrung verläuft und die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung zwischen dem Ventilkopf des Ansaugventils und der ersten Ansaugöffnung. Aufgrund dieser zwei Merkmale wird bei geöffnetem Ansaugventil die Einführung des Stroms von Partikeln des flüssigen Kraftstoffs, die entlang des Ventilkopfs des Ansaugventils verstreut sind, in die erste Ansaugbohrung erleichtert. Aus diesem Grund wird der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff leicht von der ersten Ansaugöffnung durch die erste Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeleitet. Die Verbindungsbohrungen, durch die der flüssige Kraftstoff in die Vorkammer eingeführt wird, sind nicht auf die erste Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen beschränkt.

[0010] Wenigstens in einem Teil des Niedriglastbereichs endet die Einspritzung des flüssigen Kraftstoffs durch das Ansaugleitungs-Einspritzventil vor Erreichen des Mittelpunkts zwischen dem oberen Abgas-Totpunkt und dem unteren Ansaug-Totpunkt. Aus diesem Grund wird der vom Ansaugleitungs-Einspritzventil in die Ansaugleitung eingespritzte Kraftstoff leicht von der Ansaugöffnung in den Hauptbrennraum geleitet. Das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des in der Ansaugleitung und im Hauptbrennraum gemischten Luft-Kraftstoff-Gemischs ist wenigstens in einem Teil des Niedriglastbereichs das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis oder das zweite Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das dem ersten Luft-Kraftstoff-Verhältnis entspricht oder fetter ist als dieses. Aus diesem Grund ist die Menge des flüssigen Kraftstoffs bei niedrigen Lasten groß im Vergleich zu einem Fall, in dem das Luft-Kraftstoff-Verhältnis des Luft-Kraftstoff-Gemischs magerer ist als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis. Allerdings ist die Menge des flüssigen Kraftstoffs bei niedrigen Lasten kleiner als die Menge des flüssigen Kraftstoffs bei hohen Lasten. Wenn der flüssige Kraftstoff, bei dem es sich um Benzinkraftstoff, Alkoholkraftstoff oder ein Gemisch aus Benzin und Alkohol handelt und der vom Ansaugleitungs-Einspritzventil eingespritzt wird, von der Ansaugöffnung in den Hauptbrennraum eingeführt wird, sind die Partikel des flüssigen Kraftstoffs relativ groß und die Trägheitskraft der Partikel des flüssigen Kraftstoffs ist relativ groß. Wie zuvor beschrieben ist die erste Ansaugbohrung so gebildet, dass die Einführung der Partikel des flüssigen Kraftstoffs erleichtert wird, die entlang des Ventilkopfs des Ansaugventils verstreut sind, und die Vorkammer ist hinter der ersten Ansaugbohrung gebildet, um das Verhältnis der Fläche der Innenfläche zum Volumen zu reduzieren. Aus diesem Grund ist es beispielsweise möglich, dass der flüssige Kraftstoff, der bei

niedrigen Lasten, etwa im Leerlauf, eine kleine Menge aufweist, relativ große Partikel aufweist und eine relativ hohe Trägheitskraft besitzt, tief in den Innenraum der Vorkammer gelangt. Aus diesem Grund werden die Zündfähigkeit des Luft-Kraftstoff-Gemisches in der Vorkammer und die Kraft der aus den mehreren Verbindungsbohrungen austretenden Flamme verbessert, so dass eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten ohne Zündunterstützungsrichtung sichergestellt werden kann. Die Einführung des flüssigen Kraftstoffs in die Vorkammer bedeutet nicht, dass der Kraftstoff in einem flüssigen Zustand in die Vorkammer eingeführt wird. Der Ausdruck gibt lediglich an, dass ein flüssiger Kraftstoff, der ein Sammelbegriff für Benzin-kraftstoff, Alkoholkraftstoff und ein Benzin-Alkohol-Gemisch im Rahmen der vorliegenden Anmeldung ist, in die Vorkammer eingeleitet wird. Eine hohe Zündfähigkeit eines Luft-Kraftstoff-Gemisches bedeutet, dass das Luft-Kraftstoff-Gemisch leicht entzündbar ist.

[0011] Ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.

[0012] Um zu bewirken, dass der durch die erste Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführte flüssige Kraftstoff mit geringerer Wahrscheinlichkeit durch die Verbindungsbohrungen ausgestoßen wird, sind die Verbindungsbohrungen so geformt, dass bei Betrachtung in der Zündkerzen-Axialrichtung und bei Betrachtung in einer Richtung orthogonal zu sowohl der mittleren axialen Linie der Zylinderbohrung als auch einer flachen Ebene, welche die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die Mittelachse der ersten Ansaugbohrung sich von den mittleren axialen Linien aller anderen Verbindungsbohrungen mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen unterscheidet.

[0013] Bei dieser Anordnung unterscheidet sich in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung von den mittleren axialen Linien aller anderen Verbindungsbohrungen mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung. Darüber hinaus unterscheidet sich in einer Richtung orthogonal sowohl zur mittleren axialen Linie der Zylinderbohrung als auch zu einer flachen Ebene betrachtet, welche die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung von den mittleren axialen Linien aller anderen Verbindungsbohrungen mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung. Aus diesem Grund ist es weniger wahrscheinlich, dass der flüssige Kraftstoff, der durch die erste Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführt wird, aus den Verbindungsbohrungen austritt. Dadurch wird die Einführung des flüssigen Kraftstoffs tief in den Innenraum der Vorkammer erleichtert. Aus diesem Grund werden die Zündfähigkeit des Luft-Kraftstoff-Gemisches in der Vorkammer und die Kraft der Flamme, die aus den mehreren Verbindungsbohrungen der Vorkammer austritt, verbessert. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen.

[0014] Ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann die folgenden Merkmale aufweisen.

[0015] Wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, ist jede der Ansaugbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind und die erste Ansaugbohrung umfassen, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in einer Umfangsrichtung, die auf der mittleren axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittleren axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, ist jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittleren axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittleren axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet.

[0016] Bei dieser Anordnung kann, da die Zahl der Ansaugbohrungen kleiner ist als die Zahl der Abgasbohrungen, im Vergleich zu einem Fall, in dem die Zahl der Ansaugbohrungen größer gleich der Zahl der Abgasbohrungen ist, der Durchmesser der Ansaugbohrung vergrößert und der Durchmesser der Abgasbohrung verkleinert werden, während die Gesamtquerschnittsfläche der Ansaugbohrungen und die Gesamtquerschnittsfläche der Abgasbohrungen beibehalten werden. Aus diesem Grund wird der in der Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff leicht von den Ansaugbohrungen in die Vorkammer eingeführt, während die Kraft der aus den Verbindungsbohrungen ausgestoßenen Flamme erhalten bleibt.

[0017] Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen. Der flüssige Kraftstoff kann von den Abgasbohrungen in die Vorkammer eingeführt werden. Da es außerdem möglich ist, den Durchmesser der Abgasbohrung zu verkleinern, während die Gesamtquerschnittsfläche der Ansaugbohrungen und die Gesamtquerschnittsfläche der Abgasbohrungen beibehalten werden, wird die Einleitung von Abgas aus der Abgasbohrung in die Vorkammer verhindert. Die Verbindungsbohrungen, durch die der flüssige Kraftstoff in die Vorkammer eingeführt wird, sind nicht auf die Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen beschränkt.

[0018] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann die folgenden Merkmale aufweisen.

[0019] Wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, ist jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, und der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung ist größer als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen.

[0020] Da bei dieser Anordnung der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung größer ist als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen, wird im Vergleich zu einem Fall, in dem der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung kleiner gleich dem maximalen Durchmesser der Abgasbohrungen ist, der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff leicht von der ersten Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführt, während die Kraft der aus den Verbindungsbohrungen ausgestoßenen Flamme erhalten bleibt. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen. Da der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung größer ist als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen, wird ferner die Einleitung von Abgas von der Abgasbohrung in die Vorkammer verhindert. Die Verbindungsbohrungen, durch die der flüssige Kraftstoff in die Vorkammer eingeführt wird, sind nicht auf die Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen beschränkt.

[0021] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann die folgenden Merkmale aufweisen.

[0022] Wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, weist jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie auf, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, ist die erste Ansaugbohrung so geformt, dass der Durchmesser der ersten Ansaugbohrung in Richtung des Hauptbrennraums zunimmt, und unterscheidet sich die Form von jeder der Abgasbohrungen von einer Form, bei welcher der Durchmesser der Abgasbohrung zum Hauptbrennraum hin zunimmt.

[0023] Da bei dieser Anordnung die erste Ansaugbohrung so angeordnet ist, dass ihr Durchmesser zum Hauptbrennraum hin zunimmt, wird im Vergleich zu einem Fall, in dem die erste Ansaugbohrung nicht so angeordnet ist, dass ihr Durchmesser zum Hauptbrennraum hin zunimmt, der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff leicht von der ersten Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführt, während die Kraft der aus der ersten Ansaugbohrung ausgestoßenen Flamme erhalten bleibt. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen. Da ferner jede der Abgasbohrungen nicht so angeordnet ist, dass ihr Durchmesser zum Hauptbrennraum hin zunimmt, wird die Einführung von Abgas aus der Abgasbohrung in die Vorkammer verhindert im Vergleich zu einem Fall, in dem jede der Abgasbohrungen so angeordnet ist, dass ihr Durchmesser zum Hauptbrennraum hin zunimmt. Die Verbindungsbohrungen, durch die der flüssige Kraftstoff in die Vorkammer eingeführt wird, sind nicht auf die Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen beschränkt.

- [0024]** Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.
- [0025]** Die Gesamtfläche von Querschnitten der Verbindungsbohrungen orthogonal zur mittigen axialen Linie von jeder der Verbindungsbohrungen beträgt $5,7 \text{ mm}^2$ oder mehr und $7,6 \text{ mm}^2$ oder weniger.
- [0026]** Bei dieser Anordnung kann die Kraft der aus den Brennräumen ausgestoßenen Flamme auch bei niedrigen Lasten, etwa im Leerlauf, leicht sichergestellt werden. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen. Wenn die Verbindungsbohrungen eine Verbindungsbohrung umfassen, deren Durchmesser nicht konstant ist, bedeutet der Ausdruck „die Gesamtfläche von Querschnitten der Verbindungsbohrungen orthogonal zur mittigen axialen Linie von jeder der Verbindungsbohrungen beträgt $5,7 \text{ mm}^2$ oder mehr und $7,6 \text{ mm}^2$ oder weniger“, dass wenigstens eine der Gesamtheit der Mindestflächen der Querschnitte der Verbindungsbohrungen orthogonal zur mittigen axialen Linie von jeder der Verbindungsbohrungen und der Gesamtheit der maximalen Flächen von Querschnitten der Verbindungsbohrungen orthogonal zur mittigen axialen Linie der Verbindungsbohrungen $5,7 \text{ mm}^2$ oder mehr und $7,6 \text{ mm}^2$ oder weniger beträgt. Der Durchmesser von jeder der Verbindungsbohrungen kann konstant sein.
- [0027]** Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.
- [0028]** Der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung beträgt $1,0 \text{ mm}$ oder mehr und $1,2 \text{ mm}$ oder weniger und das Volumen der Vorkammer beträgt 328 mm^3 oder mehr und 802 mm^3 oder weniger.
- [0029]** Bei dieser Anordnung kann die Kraft der aus den Brennräumen ausgestoßenen Flamme auch bei niedrigen Lasten, etwa im Leerlauf, leicht sichergestellt werden. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen.
- [0030]** Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.
- [0031]** Der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung beträgt $1,2 \text{ mm}$ oder mehr und $1,4 \text{ mm}$ oder weniger und das Volumen der Vorkammer beträgt 328 mm^3 oder mehr und 1151 mm^3 oder weniger.
- [0032]** Bei dieser Anordnung kann die Kraft der aus den Brennräumen ausgestoßenen Flamme auch bei niedrigen Lasten, etwa im Leerlauf, leicht sichergestellt werden. Dadurch ist es möglich, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten sicherzustellen.
- [0033]** Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann die folgenden Merkmale aufweisen.
- [0034]** Die Verbindungsbohrungen sind in einem Vorkammer-Wandabschnitt gebildet, der in den Innenraum des Hauptbrennraums hineinragt. Die Vorkammer ist so gebildet ist, dass, wenn der Innenraum der Vorkammer durch eine der flachen Ebenen, die durch den Innenraum der Vorkammer verläuft, ohne durch eine Außenfläche des Vorkammer-Wandabschnitts zu verlaufen, und die orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung ist, in zwei Räume geteilt wird, das Volumen des Raums nahe dem Hauptbrennraum von den zwei Räumen kleiner ist als das Volumen des Raums entfernt vom Hauptbrennraum von den zwei Räumen.
- [0035]** Bei dieser Anordnung ragt der Vorkammer-Wandabschnitt in den Innenraum des Hauptbrennraums hinein, aber der Grad des Vorsprungs ist klein. Aus diesem Grund befinden sich die im Vorkammer-Wandabschnitt gebildeten Verbindungsbohrungen in der Nähe eines Teils der Innenfläche des Hauptbrennraums, die nicht die Außenfläche des Vorkammer-Abschnitts ist. Die Partikel des flüssigen Kraftstoffs, die entlang der Innenfläche des Hauptbrennraum strömen, können daher leicht von der ersten Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführt werden.
- [0036]** Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann die folgenden Merkmale aufweisen.
- [0037]** Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor weist keinen Klopfsensor auf. Das Steuergerät steuert die Vorkammer-Zündkerze, um ein Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Vorkammer zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt zu zünden, basierend auf einer Ausgabe eines Fahrzustands-Erfassungssensors, der ausgebildet

ist, einen Fahrzustand des Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors zu erfassen, und der sich von einem Klopfsensor unterscheidet.

[0038] Da der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor die Vorkammer umfasst, wird ein schnelles Ansteigen der Möglichkeit des Klopfens beim graduellen Voreilen des Zündzeitpunkts verhindert im Vergleich zu einem Fall, in dem keine Vorkammer vorhanden ist. Da in der vorliegenden Lehre der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff wie zuvor beschrieben leicht in die Vorkammer eingeführt wird, wird außerdem die schnell ansteigende Möglichkeit des Klopfens weiter verhindert. Aus diesem Grund ist es möglich, den Zündzeitpunkt so anzuordnen, dass er noch näher an einem optimalen Zündzeitpunkt liegt, der als MBT (Minimum advance for Best Torque) bezeichnet wird, und gleichzeitig das Auftreten von Klopfen zu vermeiden, ohne einen Klopfsensor zu verwenden.

[0039] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.

[0040] Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor weist keinen Kompressor auf. Außerdem weist der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor keinen Turbolader auf.

[0041] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.

[0042] Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor weist kein Hauptbrennraum-Kraftstoffeinspritzventil auf, das zum Einspritzen von Kraftstoff in den Hauptbrennraum ausgebildet ist.

[0043] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre kann das folgende Merkmal aufweisen.

[0044] Das Verdichtungsverhältnis des Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors der vorliegenden Lehre beträgt 11 oder mehr.

[0045] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist ein Niedriglastbereich ein Bereich, der die untere Hälfte eines Bereichs zwischen der minimalen Motorlast und der maximalen Motorlast darstellt.

[0046] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bedeutet das Beenden der Kraftstoffeinspritzung vor Erreichen des Mittelpunkts zwischen dem oberen Abgas-Totpunkt und dem unteren Ansaug-Totpunkt, dass die Kraftstoffeinspritzung beendet wird, bevor der Kurbelwinkel den Mittelpunkt zwischen einem oberen Abgas-Totpunkt und einem unteren Ansaug-Totpunkt in einem Zyklus (vier Takte) erreicht. Der Mittelpunkt ist das Zentrum.

[0047] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen wird ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das ein Verhältnis von Kraftstoff zu Luft ist, durch ein erstes Luft-Kraftstoff-Verhältnis, ein zweites Luft-Kraftstoff-Verhältnis und ein drittes Luft-Kraftstoff-Verhältnis dargestellt. Das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das nach der Verbrennung durch einen Dreiwegekatalysator verarbeitet werden kann. Das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis kann ein stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis oder ein Fenster von Luft-Kraftstoff-Verhältnissen sein, welches das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis einschließt. Das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis kann ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis nahe dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis sein. Das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis kann ein Fenster von Luft-Kraftstoff-Verhältnissen sein, das das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis einschließt, aber nicht das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis einschließt. Das zweite Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist ein fetteres Luft-Kraftstoff-Verhältnis als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis. Wenn das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis entweder ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis nahe dem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis oder ein Fenster von Luft-Kraftstoff-Verhältnissen ist, das nicht das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis einschließt, kann das zweite Luft-Kraftstoff-Verhältnis fetter als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis sein oder auch nicht. Das dritte Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist ein magereres Luft-Kraftstoff-Verhältnis als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bedeutet „fett“, dass der Kraftstoff in einem Luft-Kraftstoff-Gemisch eine hohe Konzentration aufweist. Andererseits bedeutet „mager“, dass der Kraftstoff in einem Luft-Kraftstoff-Gemisch eine niedrige Konzentration aufweist. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen gibt das nach der Verbrennung durch den Dreiwegekatalysator verarbeitbare Luft-Kraftstoff-Verhältnis ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines Luft-Kraftstoff-Gemischs an, bei dem nach der Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs erzeugtes Abgas durch den Dreiwegekatalysa-

tor verarbeitbar ist. Ein Steuergerät kann wenigstens in einem Teil eines Niedriglastbereichs ein Ansaugleitungs-Einspritzventil so steuern, dass das Luft-Kraftstoff-Verhältnis eines in einer Ansaugleitung und einem Hauptbrennraum gemischten Luft-Kraftstoff-Gemischs gleich oder fetter als das stöchiometrische Luft-Kraftstoff-Verhältnis ist. Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre umfasst einen Katalysator, der in einer Abgasleitung angeordnet ist. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre kann einen Dreiwegekatalysator umfassen, der in einer Abgasleitung angeordnet ist. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre kann einen Katalysator umfassen, der in einer Abgasleitung angeordnet ist und kein Dreiwegekatalysator ist. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre umfasst einen Sauerstoffsensord, der zwischen einem Hauptbrennraum und einem Katalysator angeordnet und so ausgebildet ist, dass er die Sauerstoffkonzentration des in einer Abgasleitung strömenden Abgases erfasst.

[0048] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist eine Zündunterstützungsvorrichtung, die so ausgebildet ist, dass sie die Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einer Vorkammer oder einem Hauptbrennraum unterstützt, beispielsweise eine Vorrichtung zur Durchführung einer Mikrowellenentladung, eine Vorrichtung zur Durchführung einer dielektrischen Barrierenentladung (stille Entladung) oder eine Zündkerze zur Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Hauptbrennraum. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bezeichnet ein Ausdruck „der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor weist keine Zündunterstützungsvorrichtung auf“ nicht nur den Fall, dass eine von einer Vorkammer-Zündkerze unabhängige Zündunterstützungsvorrichtung nicht angeordnet ist, sondern auch den Fall, dass eine Vorkammer-Zündkerze keine Funktion als Zündunterstützungsvorrichtung hat.

[0049] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist das Volumen der Vorkammer kleiner als das Mindestvolumen des Hauptbrennraums, wenn die Vorkammer ein kleineres Volumen aufweist als der Hauptbrennraum. Das Volumen des Hauptbrennraums ändert sich entsprechend der Bewegung eines Kolbens. Das Volumen der Vorkammer gibt das Volumen des Innenraums der Vorkammer an. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen umfasst der Innenraum der Vorkammer nicht die Innenräume von Verbindungsbohrungen. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist eine Innenfläche einer Vorkammer eine Fläche, die den Innenraum der Vorkammer bildet. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bildet eine Vorkammer-Zündkerze einen Teil einer Innenfläche einer Vorkammer. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bedeutet ein Ausdruck „eine Innenfläche der Vorkammer mit Ausnahme der Vorkammer-Zündkerze weist keinen Vorsprung auf“, dass entweder kein Vorsprung auf der Innenfläche der Vorkammer gebildet ist oder ein auf der Innenfläche der Vorkammer gebildeter Vorsprung nur ein von der Vorkammer-Zündkerze gebildeter Vorsprung ist.

[0050] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bezeichnet die Länge in der Zündkerzen-Axialrichtung des Innenraums einer Vorkammer die Länge in der Zündkerzen-Axialrichtung zwischen einem Ende und dem anderen Ende des Innenraums der Vorkammer in der Zündkerzen-Axialrichtung. Das heißt, die zuvor beschriebene Länge ist die Länge zwischen (i) einer flachen Ebene, die durch ein Ende in der Zündkerzen-Axialrichtung des Innenraums der Vorkammer verläuft und orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung ist, und (ii) einer flachen Ebene, die durch das andere Ende in der Zündkerzen-Axialrichtung des Innenraums der Vorkammer verläuft und orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung ist. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist die Definition der Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung ähnlich wie zuvor. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist die maximale Länge des Innenraums der Vorkammer in der Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung die längste der Längen des Innenraums der Vorkammer in mehreren Richtungen orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung.

[0051] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist die mittige axiale Linie einer Zylinderbohrung kein Liniensegment, das nur in einem Bereich existiert, in dem die Zylinderbohrung vorhanden ist, sondern eine lineare Linie mit unendlicher Länge.

[0052] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist die mittige axiale Linie einer Vorkammer-Zündkerze kein Liniensegment, das nur in einem Bereich existiert, in dem die Vorkammer-Zündkerze vorhanden ist, sondern eine lineare Linie mit unendlicher Länge. Die Mittelachse der Vorkammer-Zündkerze kann parallel zur mittigen axialen Linie einer Zylinderbohrung verlaufen oder auch nicht.

[0053] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist eine Ansaugöffnung ein Ende eines ringförmigen Abschnitts eines Ansaugventils, an dem das Ansaugventil mit einem Ventilkopf in Kontakt steht, der näher an einem Hauptbrennraum liegt als das andere Ende. Eine Abgasöffnung ist ein Ende eines ring-

förmigen Abschnitts eines Abgasventils, an dem das Abgasventil mit einem Ventilkopf in Kontakt steht, der näher an einem Hauptbrennraum liegt als das andere Ende. Die Zahl der wenigstens einen Ansaugöffnung kann in der vorliegenden Lehre eine oder mehrere sein.

[0054] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist die mittige axiale Linie einer ersten Ansaugbohrung kein Liniensegment, das nur in einem Bereich existiert, in dem die erste Ansaugbohrung (Verbindungsbohrung) vorhanden ist, sondern eine lineare Linie mit unendlicher Länge. Das Gleiche gilt für die Definition der Mittelachse der Verbindungsbohrung.

[0055] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen schließt „eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung eines Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum einer Vorkammer zu verlaufen“ nicht einen Teil der mittigen axialen Linie der Verbindungsbohrung ein, der innerhalb der Verbindungsbohrung angeordnet ist.

[0056] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist der Durchmesser einer ersten Ansaugbohrung der Durchmesser einer ersten Ansaugbohrung (Verbindungsbohrung) in einem Querschnitt orthogonal zur mittigen axialen Linie der ersten Ansaugbohrung (Verbindungsbohrung). Der Durchmesser einer Abgasbohrung, die eine Verbindungsbohrung darstellt, ist ähnlich definiert. Der Durchmesser einer Ansaugbohrung, die eine Verbindungsbohrung darstellt, ist ebenfalls ähnlich definiert. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bedeutet, wenn sich mehrere Abgasbohrungen im maximalen Durchmesser voneinander unterscheiden, ein Ausdruck „der Mindestdurchmesser einer ersten Ansaugbohrung ist größer als der maximale Durchmesser von mehreren Abgasbohrungen“, dass der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung größer ist als der größte der maximalen Durchmesser der Abgasbohrungen. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bezeichnet „Ansaugbohrung“ keine Bohrung, die zum Ansaugen von Gas dient. Die Ansaugbohrung wird so genannt, weil sie eine Verbindungsbohrung in der Nähe einer Ansaugöffnung darstellt. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist eine erste Ansaugbohrung eine Verbindungsbohrung in der Nähe einer ersten Ansaugöffnung. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen bezeichnet „Abgasbohrung“ keine Bohrung, die für Abgase verwendet wird. Die Abgasbohrung wird so genannt, weil sie eine Verbindungsbohrung in der Nähe einer Abgasöffnung darstellt.

[0057] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist ein Ausdruck „eine Abgasbohrung weist in einer Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet eine Richtungslinie auf, deren kürzester Abstand zu wenigstens einer Abgasöffnung in einer Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie einer Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer als der kürzeste Abstand zu wenigstens einer Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist“, dass in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet die Richtungslinie der Abgasbohrung, deren kürzester Abstand zu wenigstens einer Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand der Richtungslinie der Abgasbohrung zu wenigstens einer Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist. Wenn die Richtungslinie einer Abgasbohrung durch eine Abgasöffnung verläuft, ist der kürzeste Abstand zwischen der Richtungslinie der Abgasbohrung und der Abgasöffnung in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet gleich Null. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist ein Ausdruck „eine Ansaugbohrung weist in einer Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet eine Richtungslinie auf, deren kürzester Abstand zu wenigstens einer Ansaugöffnung in einer Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie einer Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer als der kürzeste Abstand zu wenigstens einer Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist“ ähnlich definiert wie zuvor.

[0058] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen können Verbindungsbohrungen in einem in den Innenraum eines Hauptbrennraums hineinragenden Vorkammer-Wandabschnitt gebildet sein oder in einem nicht in den Innenraum eines Hauptbrennraums hineinragenden Vorkammer-Wandabschnitt ausgebildet sein. Der Vorkammer-Wandabschnitt, in dem Verbindungsbohrungen gebildet sind, ist ein Wandabschnitt, dessen eine Seite (Außenfläche) zum Innenraum eines Hauptbrennraums freiliegt. Wenn der Vorkammer-Wandabschnitt einen zylindrischen Abschnitt aufweist, ist der Vorkammer-Wandabschnitt so gebildet, dass er in den Innenraum des Hauptbrennraums hineinragt. Der Vorkammer-Wandabschnitt kann ein von der Vorkammer-Zündkerze unabhängiges Element sein oder kann untrennbar mit der Vorkammer-Zündkerze integriert sein. Ein Ausdruck „ein Vorkammer-Wandabschnitt ist ein von einer Vorkammer-Zündkerze unabhängiges Element“ bedeutet, dass entweder ein Element, das den Vorkammer-Wandabschnitt umfasst, von der Vorkammer-Zündkerze getrennt ist, oder dass das Element, das den Vorkammer-Wandabschnitt umfasst, trennbar mit der Vorkammer-Zündkerze in Kontakt steht.

[0059] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist das Verdichtungsverhältnis eines Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors das Verhältnis des Maximalwerts zum Minimalwert der Kapazität eines Hauptbrennraums.

[0060] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist ein Motor-Fahrzustands-Erfassungssensor, der so ausgebildet ist, dass er den Fahrzustand eines Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors erfasst, ein Sensor, der so ausgebildet ist, dass er einen Zustand hinsichtlich eines Faktors erfasst, der die Bestimmung eines Zündzeitpunkts beeinflusst. Der Sensor ist beispielsweise ein Sensor, der ausgebildet ist, eine Betätigungsmenge eines Beschleunigungsstellglieds, eine Last, eine Motordrehzahl, eine Ansaugtemperatur, einen Ansaugdruck, eine Ansaugluftmenge, einen Luftdruck, eine Motortemperatur, eine Öltemperatur, eine Kühlmitteltemperatur, eine Motorwandtemperatur und eine Abgastemperatur zu erfassen.

[0061] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen, wenn die Zahl von Bestandteilen nicht eindeutig spezifiziert ist (das heißt, wenn das Bestandteile im Englischen in der Einzahl ausgedrückt ist), kann die Zahl von Bestandteilen eins oder mehrere sein. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen umfassen Beispiele für Bestandteile, deren Zahl nicht eindeutig festgelegt ist, einen Hauptbrennraum, eine Ansaugleitung, eine Abgasleitung, eine Drosselklappe, ein Ansaugleitungs-Einspritzventil, eine Vorkammer und eine Vorkammer-Zündkerze.

[0062] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen kann einen Hauptbrennraum oder mehrere Hauptbrennräume umfassen. Das heißt, der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre und der Ausführungsbeispiele kann eine Einzylinder-Motoreinheit oder eine Mehrzylinder-Motoreinheit sein. Die Zahl der Vorkammern und die Zahl der Vorkammer-Zündkerzen ist jeweils identisch mit der Zahl der Hauptbrennräume. Die Zahl der Ansaugleitungs-Einspritzventile kann mit der Zahl der Hauptbrennräume identisch oder größer sein als diese. Die Zahl der Drosselklappen kann mit der Zahl der Hauptbrennräume identisch oder kleiner als diese sein. Die Ansaugleitung kann in zwei oder mehr Leitungen verzweigt sein. Die Zahl der mit einem Hauptbrennraum verbundenen Ansaugleitungen ist Eins. Eine Ansaugleitung, die sich in mehrere Leitungen verzweigt, kann mit mehreren Hauptbrennräumen verbunden sein. Die Abgasleitung kann in zwei oder mehr Leitungen verzweigt sein. Die Zahl der Abgasleitungen, die mit einem Hauptbrennraum verbunden sind, ist Eins. Eine Abgasleitung, die sich in mehrere Leitungen verzweigt, kann mit mehreren Hauptbrennräumen verbunden sein.

[0063] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre und der Ausführungsbeispielen kann in ein Aufsitzfahrzeug montiert sein, das leichter als Autos ist und einen leichten und kleinen Motor aufweisen muss. Das Aufsitzfahrzeug bezeichnet alle Arten von Fahrzeugen, auf denen ein Fahrer in Sitzhaltung fährt. Das Aufsitzfahrzeug umfasst ein Motorrad, einen Motorroller, ein Motordreirad, einen vierrädrigen Buggy (ATV: All Terrain Vehicle), ein Schneemobil, ein Wassermotorrad und dergleichen. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre und der Ausführungsbeispiele kann in ein Nutzfahrzeug montiert sein, das einen leichten und kleinen Motor aufweisen muss. Selbstverständlich kann der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre und der Ausführungsbeispiele in ein Auto montiert sein. Die Produkte, in die der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre und der Ausführungsbeispielen jeweils montiert wird, sind nicht auf bestimmte Produkte beschränkt. Wenn ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Lehre in ein Produkt montiert wird, kann der Motor so montiert werden, dass die mittige axiale Linie der Zylinderbohrung und die vertikale Linie einen Winkel zwischen 0 und 45 Grad einschließlich oder einen Winkel zwischen 45 und 90 Grad einschließlich bilden.

[0064] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen werden die Begriffe „umfassend“ und „aufweisend“ und deren Ableitungen verwendet, um nicht nur die aufgeführten Elemente und deren Äquivalente, sondern auch zusätzliche Elemente einzuschließen.

[0065] Vorbehaltlich einer anderweitigen Begriffsbestimmung haben alle in der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen verwendeten Begriffe (einschließlich technische und wissenschaftliche) die gleiche Bedeutung, die ein Fachmann auf dem Gebiet dieser Lehre hierzu normalerweise kennt. Begriffe, wie sie in allgemein gebräuchlichen Wörterbüchern definiert sind, sind so auszulegen, dass sie eine Bedeutung haben, die mit ihrer Bedeutung im Kontext des einschlägigen Stands der Technik und der vorliegenden Offenbarung übereinstimmt, und sind nicht in einem idealisierten oder übermäßig formalen Sinne auszulegen.

[0066] In der vorliegenden Lehre und den Ausführungsbeispielen ist der Begriff „kann“ nicht ausschließlich. „Kann sein“ bedeutet „kann sein, ist aber nicht beschränkt auf“. In der vorliegenden Lehre und den Ausführungs-

rungsbeispielen übt eine Anordnung, die durch die Verwendung des Begriffs „kann“ erläutert wird, wenigstens die zuvor beschriebenen Wirkungen der Anordnung der vorliegenden Lehre aus.

[0067] Bevor die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Lehre näher erläutert werden, sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Lehre nicht auf die nachfolgend beschriebenen und/oder in den Zeichnungen dargestellten Konfigurationen und Anordnungen von Elementen beschränkt ist. Die vorliegende Lehre ist auch auf andere als die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele anwendbar. Die vorliegende Lehre kann auch in einem anderen als dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel umgesetzt werden.

Vorteilhafte Wirkungen

[0068] In einem Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre kann dadurch, dass die Zündfähigkeit des Luft-Kraftstoff-Gemisches in der Vorkammer und die Kraft der aus den mehreren Verbindungsbohrungen austretenden Flamme verbessert wird, eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten ohne Zündunterstützungsvorrichtung sichergestellt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1(a) und Fig. 1(b) zeigen jeweils ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 2(a) und Fig. 2(b) zeigen schematische Diagramme von zwei Beispielen eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des zweiten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre. **Fig. 2(c) und Fig. 2(d)** zeigen schematische Diagramme von zwei Beispielen eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des dritten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre. **Fig. 2(e)** zeigt ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des vierten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 3(a) und Fig. 3(b) zeigen ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des fünften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 4 zeigt ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des sechsten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 5 zeigt ein schematisches Teildiagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des siebten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 6(a) und Fig. 6(b) zeigen ein schematisches Teildiagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des achten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 7 zeigt ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des neunten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre.

Fig. 8 umfasst ein schematisches Diagramm eines Beispiels eines Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotors des zehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre und einen Graphen von Beispielen und einem Vergleichsbeispiel der vorliegenden Lehre, das Testergebnisse in Bezug auf das zehnte Ausführungsbeispiel zeigt.

Fig. 9 zeigt einen Graphen von Beispielen und Vergleichsbeispielen der vorliegenden Lehre, der Testergebnisse in Bezug auf einen Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor der elften Ausführungsform der vorliegenden Lehre zeigt.

Fig. 10(a) und Fig. 10(b) zeigen jeweils einen Graphen von Beispielen und Vergleichsbeispielen der vorliegenden Lehre, der Testergebnisse in Bezug auf einen Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor des zwölften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre zeigt.

Fig. 11 zeigt einen Graphen von Beispielen und einem Vergleichsbeispiel der vorliegenden Lehre, der Testergebnisse in Bezug auf einen Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor des dreizehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre zeigt.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0069] Nachfolgend ist ein Vorkammerverbrennungs-Viertaktmotor eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre in Bezug auf Zeichnungen beschrieben. Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele

sind lediglich Beispiele. Die vorliegende Lehre sollte nicht auf die zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt werden.

Erstes Ausführungsbeispiel

[0070] Nachfolgend ist ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre in Bezug auf **Fig. 1(a)** und **Fig. 1(b)** beschrieben. **Fig. 1(a)** und **Fig. 1(b)** zeigen jeweils ein Beispiel des ersten Ausführungsbeispiels. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des ersten Ausführungsbeispiels umfasst wenigstens einen Hauptbrennraum 2. Der Hauptbrennraum 2 umfasst wenigstens eine Ansaugöffnung 3, an die eine Ansaugleitung 5 angeschlossen ist, und wenigstens eine Abgasöffnung 4, an die eine Abgasleitung 6 angeschlossen ist. Der Hauptbrennraum 2 besteht aus einem Zylinderkopf 10, einer Zylinderbohrung 11 und einem Kolben 12. Das heißt, die Zylinderbohrung 11 bildet den Hauptbrennraum 2. Die Ansaugleitung 5 umfasst eine im Inneren des Zylinderkopfs 10 gebildete Leitung und eine weitere Leitung, die mit dieser Leitung verbunden ist. Die Abgasleitung 6 umfasst eine im Inneren des Zylinderkopfs 10 gebildete Leitung und eine weitere Leitung, die mit dieser Leitung verbunden ist. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 umfasst wenigstens eine Drosselklappe 7. Die Drosselklappe 7 ist zum Anpassen der Luftmenge ausgebildet, die durch die Ansaugleitung 5 strömt und in den Hauptbrennraum 2 gesaugt wird. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 umfasst wenigstens ein Ansaugleitungs-Einspritzventil 8. Das Ansaugleitungs-Einspritzventil 8 ist so ausgebildet, dass es in das Innere der Ansaugleitung 5 flüssigen Kraftstoff einspritzt, bei dem es sich um Benzinkraftstoff, Alkoholkraftstoff oder eine Mischung aus Benzin und Alkohol handelt. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 umfasst wenigstens eine Vorkammer 20. Der Innenraum der Vorkammer 20 steht über Verbindungsbohrungen 21 mit dem Innenraum des Hauptbrennraums 2 in Verbindung. Die Vorkammer 20 ist so geformt, dass sie ein kleineres Volumen als der Hauptbrennraum 2 aufweist. Zum Innenraum der Vorkammer 20 ist eine Vorkammer-Zündkerze 23 teilweise freigelegt. Die Positionsbeziehung zwischen der mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 und der mittigen axialen Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 ist nicht auf die in **Fig. 1(a)** und **Fig. 1(b)** dargestellte Positionsbeziehung beschränkt. **Fig. 1(a)** zeigt einen Querschnitt entlang einer Linie A-A in **Fig. 1(b)**. Eine Richtung parallel zur mittigen axialen Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 wird als Zündkerzen-Axialrichtung DP bezeichnet. In **Fig. 1(a)** und **Fig. 1(b)** ist die Zündkerzen-Axialrichtung DP parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11. Diesbezüglich verläuft die Zündkerzen-Axialrichtung gegebenenfalls nicht parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 umfasst ein Steuergerät 70, das zur Steuerung des wenigstens einen Ansaugleitungs-Einspritzventils 8 und der wenigstens einen Vorkammer-Zündkerze 23 ausgebildet ist. Das Steuergerät 70 steuert das Ansaugleitungs-Einspritzventil 8 so, dass wenigstens in einem Teil eines Niedriglastbereichs, in dem der Öffnungsgrad der Drosselklappe 7 klein ist, eine Einspritzung von flüssigem Kraftstoff beendet wird, bevor der Mittelpunkt zwischen einem oberen Abgas-Totpunkt und einem unteren Ansaug-Totpunkt erreicht wird, und ein Luft-Kraftstoff-Gemisch, das in der Ansaugleitung 5 und im Hauptbrennraum 2 gemischt wird, entweder ein erstes Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufweist, bei dem das Luft-Kraftstoff-Gemisch nach der Verbrennung durch einen Dreiwegekatalysator verarbeitbar ist, oder ein zweites Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das fetter ist als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis. Beispielsweise kann das Steuergerät 70 das Ansaugleitungs-Einspritzventil 8 so steuern, dass das in der Ansaugleitung 5 und im Hauptbrennraum 2 gemischte Luft-Kraftstoff-Gemisch zumindest in einem Teil des Niedriglastbereichs ein erstes Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufweist, bei dem das Luft-Kraftstoff-Gemisch nach der Verbrennung durch den Dreiwegekatalysator verarbeitbar ist. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 kann einen Dreiwegekatalysator umfassen oder auch nicht. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 weist kein Vorkammer-Kraftstoffeinspritzventil auf, das zum Einspritzen von Kraftstoff in die Vorkammer 20 ausgebildet ist. Darüber hinaus weist der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 keine Zündunterstützungsvorrichtung auf, welche die Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Vorkammer 20 oder im Hauptbrennraum 2 unterstützt.

[0071] Die Vorkammer 20 weist die folgenden zwei Merkmale auf, um das Verhältnis der Fläche der Innenfläche der Vorkammer 20 zum Volumen der Vorkammer 20 zu reduzieren. Das erste Merkmal besteht darin, dass mit Ausnahme der Vorkammer-Zündkerze 23 an der Innenfläche der Vorkammer 20 kein Vorsprung gebildet ist. Das zweite Merkmal besteht darin, dass die längere von der Länge L1 des Innenraums der Vorkammer 20 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP und der maximalen Länge L2 des Innenraums der Vorkammer 20 in einer Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung DP ist kürzer als das Doppelte der kürzeren. Während in **Fig. 1(a)** die Länge L2 länger ist als die Länge L1, kann die Länge L1 länger sein als die Länge L2. Die Form des Innenraums der Vorkammer 20 ist nicht auf die in **Fig. 1(a)** und **Fig. 1(b)** dargestellte Form beschränkt.

[0072] Die wenigstens eine Ansaugöffnung 3 umfasst eine erste Ansaugöffnung 3a. **Fig. 1(b)** zeigt die erste Ansaugöffnung 3a und die Verbindungsbohrungen 21 in einer Zündkerzen-Axialrichtung DP vom Hauptbrennraum 2 aus gesehen. **Fig. 1(b)** zeigt keine anderen Elemente als den Hauptbrennraum 2, die erste Ansaugöffnung 3a, die Verbindungsbohrungen 21 und die Vorkammer 20. Wie in **Fig. 1(b)** dargestellt wird ein Liniensegment, das die mittige axiale Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 mit der Mitte C3a der ersten Ansaugöffnung 3a verbindet in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet, als ein Liniensegment L_{Sa} definiert. Die Verbindungsbohrungen 21 umfassen ein erstes Ansaugloch 21ia, das die folgenden zwei Merkmale aufweist. Das erste Merkmal besteht darin, dass, in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet, ein Winkel θ , der zwischen der mittigen axialen Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia und dem Liniensegment L_{Sa} gebildet wird, eine Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta < 17 \text{ Grad}$ erfüllt (siehe **Fig. 1(b)**). Der Winkel θ (absoluter Wert) ist in **Fig. 1(b)** größer als 0 Grad, aber der Winkel θ kann 0 Grad betragen. Das zweite Merkmal besteht darin, dass, wenn ein Ansaugventil 13, das zum Öffnen und Schließen der ersten Ansaugöffnung 3a angeordnet ist, geöffnet ist, in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 verläuft und die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugöffnung 21ia umfasst, die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia zwischen einem Ventilkopf 14 des Ansaugventils 13 und der ersten Ansaugöffnung 3a verläuft (siehe **Fig. 1 (a)**). **Fig. 1(a)** zeigt einen Querschnitt, der den Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 entlang einer flachen Ebene schneidet, die parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 verläuft und die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia umfasst. Da die Verbindungsbohrungen 21 eine solche erste Ansaugbohrung 21ia aufweisen, wird flüssiger Kraftstoff, der in die Ansaugleitung 5 eingespritzt wird, leicht von der ersten Ansaugöffnung 3a in die Vorkammer 20 durch die erste Ansaugbohrung 21ia eingeleitet. Während die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 in **Fig. 1** fünf beträgt, kann die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 mehr oder weniger als fünf betragen. Zahl, Positionen, Formen und Größen der Verbindungsbohrungen 21 im ersten Ausführungsbeispiel sind nicht auf die in **Fig. 1** gezeigten beschränkt. In **Fig. 1** liegt der Schnittpunkt zwischen der mittigen axialen Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia und der mittigen axialen Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP näher am Hauptbrennraum 2, als der Elektrodenabschnitt auf der mittigen axialen Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 am Hauptbrennraum 2 liegt. Die Offenbarung ist jedoch nicht auf diese Anordnung beschränkt.

[0073] Die erste Ansaugbohrung 21ia ist so gebildet, dass die Einführung der Partikel des flüssigen Kraftstoffs erleichtert wird, die entlang des Ventilkopfs 14 des Ansaugventils 13 verstreut sind, und die Vorkammer 20 ist hinter der ersten Ansaugbohrung 21ia gebildet, um das Verhältnis der Fläche der Innenfläche zum Volumen zu reduzieren. Aus diesem Grund ist es möglich, dass der flüssige Brennstoff, der relativ große Partikel und eine relativ hohe Trägheitskraft aufweist, tief in den Innenraum der Vorkammer 20 gelangt. Daher werden die Zündfähigkeit eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Vorkammer 20 und die Kraft der aus den mehreren Verbindungsbohrungen 21 austretenden Flamme verbessert, so dass eine ausreichende Motorleistung bei niedrigen Lasten ohne Zündunterstützungsvorrichtung möglich ist.

[0074] Das Verdichtungsverhältnis des Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotors 1 des ersten Ausführungsbeispiels kann beispielsweise größer gleich 11 sein. Der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des ersten Ausführungsbeispiels weist gegebenenfalls kein Hauptbrennraum-Kraftstoffeinspritzventil auf, das zum Einspritzen von Kraftstoff in das Innere des Hauptbrennraums 2 ausgebildet ist. Das heißt, der in die Innenräume des Hauptbrennraums 2 und der Vorkammer 2 eingeführte Kraftstoff ist gegebenenfalls nur der vom Ansaugleitung-Einspritzventil 8 eingespritzte Kraftstoff. Der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des ersten Ausführungsbeispiels umfasst gegebenenfalls weder einen Kompressor noch einen Turbolader. Das heißt, der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 kann ein Saugmotor sein. Der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des ersten Ausführungsbeispiels umfasst gegebenenfalls keine externe Abgasrückführungsvorrichtung, die einen externen Abgasrückführungsleitung umfasst, die den Hauptbrennraum 2 umgeht und die Abgasleitung 6 mit der Ansaugleitung 5 verbindet.

Zweites Ausführungsbeispiel

[0075] Nachfolgend ist ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des zweiten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre in Bezug auf **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** beschrieben. **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** zeigen zwei Beispiele des zweiten Ausführungsbeispiels. Das zweite Ausführungsbeispiel schließt die Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels ein. Im zweiten Ausführungsbeispiel weist der Hauptbrennraum 2 zwei Ansaugöffnungen 3 auf. Die zwei Ansaugöffnungen 3 sind eine erste Ansaugöffnung 3a und eine zweite Ansaugöffnung 3b. Der Hauptbrennraum 2 kann zwei Abgasöffnungen 4 aufweisen wie in **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** dargestellt. Obwohl nicht dargestellt kann der Hauptbrennraum 2 eine einzige Abgasöffnung 4 aufweisen. **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** zeigen die zwei Ansaugöffnungen 3, die zwei Abgasöffnungen 4 und die Verbindungsbohrungen 21

in der Zündkerzen-Axialrichtung DP vom Hauptbrennraum 2 aus betrachtet. Im zweiten Ausführungsbeispiel umfassen die Verbindungsbohrungen 21 eine zweite Ansaugbohrung 21ib, welche die folgenden zwei Merkmale aufweist. Das erste Merkmal besteht darin, dass, in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet, ein Winkel θ_2 , der zwischen der mittigen axialen Linie C21ib der ersten Ansaugbohrung 21ib und dem Liniensegment LSb gebildet wird, eine Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta_2 < 17 \text{ Grad}$ erfüllt. Das Liniensegment LSb verbindet die mittige axiale Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 mit der Mitte C3a der zweiten Ansaugöffnung 3b. In **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** ist der Winkel θ_2 (absoluter Wert) größer als 0 Grad; aber der Winkel θ_2 kann auch 0 Grad betragen. Das zweite Merkmal besteht darin, dass, obgleich nicht dargestellt, wenn ein Ansaugventil (nicht dargestellt), das zum Öffnen und Schließen der ersten Ansaugöffnung 3b angeordnet ist, geöffnet ist, in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 verläuft und die mittige axiale Linie C21ib der zweiten Ansaugbohrung 21ib umfasst, die mittige axiale Linie C21ib der zweiten Ansaugbohrung 21ib zwischen einem Ventilkopf des Ansaugventils und der zweiten Ansaugöffnung 3b verläuft. Die zweite Ansaugöffnung 3b und die zweite Ansaugbohrung 21ib des zweiten Ausführungsbeispiels weisen die gleichen Merkmale auf wie die erste Ansaugöffnung und die erste Ansaugbohrung der vorliegenden Lehre. Da die Verbindungsbohrungen 21 eine solche zweite Ansaugbohrung 21ib aufweisen, wird flüssiger Kraftstoff, der in die Ansaugleitung 5 eingespritzt wird, leicht von der zweiten Ansaugöffnung 3b in die Vorkammer 20 durch die zweite Ansaugbohrung 21ib eingeleitet. Während die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 in **Fig. 2(a)** fünf und die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 in **Fig. 2(b)** sechs beträgt, sind Zahl, Positionen, Formen und Größen der Verbindungsbohrungen 21 im zweiten Ausführungsbeispiel nicht auf die in **Fig. 2(a)** und **Fig. 2(b)** gezeigten beschränkt.

Drittes Ausführungsbeispiel

[0076] Ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des dritten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre ist in Bezug auf **Fig. 2(c)** und **Fig. 2(d)** beschrieben. **Fig. 2(c)** und **Fig. 2(d)** zeigen zwei Beispiele des dritten Ausführungsbeispiels. Das dritte Ausführungsbeispiel schließt die Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels ein. Im dritten Ausführungsbeispiel umfasst der Hauptbrennraum 2 eine einzige Ansaugöffnung 3. Die einzige Ansaugöffnung 3 ist eine erste Ansaugöffnung 3a. Der Hauptbrennraum 2 kann eine einzige Abgasöffnung 4 aufweisen wie in **Fig. 2(c)** und **Fig. 2(d)** dargestellt. Obwohl nicht dargestellt, kann der Hauptbrennraum 2 zwei Abgasöffnungen 4 aufweisen. Während die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 in **Fig. 2(c)** fünf und die Zahl der Verbindungsbohrungen 21 in **Fig. 2(d)** sechs beträgt, sind Zahl, Positionen, Formen und Größen der Verbindungsbohrungen 21 im dritten Ausführungsbeispiel nicht auf die in **Fig. 2(c)** und **Fig. 2(d)** gezeigten beschränkt.

Viertes Ausführungsbeispiel

[0077] Ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des vierten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre ist in Bezug auf **Fig. 2(e)** beschrieben. **Fig. 2(e)** zeigt ein Beispiel des vierten Ausführungsbeispiels. Das vierte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis dritten Ausführungsbeispiels ein. Im vierten Ausführungsbeispiel umfassen die Verbindungsbohrungen 21 eine dritte Ansaugbohrung 21ic, welche die folgenden zwei Merkmale aufweist. Das erste Merkmal besteht darin, dass, in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet, ein Winkel θ_3 , der zwischen der mittigen axialen Linie C21ic der dritten Ansaugbohrung 21ic und dem Liniensegment LSa gebildet wird, eine Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta_3 < 17 \text{ Grad}$ erfüllt. Das Liniensegment LSa verbindet die mittige axiale Linie C23 der Vorkammer-Zündkerze 23 mit der Mitte C3b der ersten Ansaugöffnung 3a. Das zweite Merkmal besteht darin, dass, obgleich nicht dargestellt, wenn ein Ansaugventil 13, das zum Öffnen und Schließen der ersten Ansaugöffnung 3a angeordnet ist, geöffnet ist, in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 verläuft und die mittige axiale Linie C21ic der ersten Ansaugöffnung 21ic umfasst, die mittige axiale Linie C21ic der dritten Ansaugbohrung 21ic zwischen einem Ventilkopf 14 des Ansaugventils 13 und der dritten Ansaugöffnung 3a verläuft. Da die Verbindungsbohrungen 21 eine solche dritte Ansaugbohrung 21ic aufweisen, wird flüssiger Kraftstoff, der in die Ansaugleitung 5 eingespritzt wird, leicht von der ersten Ansaugöffnung 3a in die Vorkammer 20 durch die dritte Ansaugbohrung 21ic eingeleitet. Die erste Ansaugbohrung 21ia und die dritte Ansaugbohrung 21ic des vierten Ausführungsbeispiel entsprechen der ersten Ansaugbohrung der vorliegenden Lehre. Zahl, Positionen, Formen und Größen der Verbindungsbohrungen 21 im vierten Ausführungsbeispiel sind nicht auf die in **Fig. 2(e)** gezeigten beschränkt.

Fünftes Ausführungsbeispiel

[0078] Nachfolgend ist ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des fünften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre in Bezug auf **Fig. 3(a)** und **Fig. 3(b)** beschrieben. **Fig. 3(a)** und **Fig. 3(b)** zeigen ein Beispiel des fünften Ausführungsbeispiels. Das fünfte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis vierten Ausführungsbeispiels ein. Im fünften Ausführungsbeispiel sind die Verbindungsbohrungen 21 so gebildet, dass es weniger wahrscheinlich ist, dass der flüssige Kraftstoff, der durch die erste Ansaugbohrung 21ia in die Vorkammer 20 eingeführt wird, aus den Verbindungsbohrungen 21 austritt. In der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet unterscheidet sich die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia von den mittigen axialen Linien C21 aller anderen Verbindungsbohrungen 21 mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung 21ia von den Verbindungsbohrungen 21 (siehe **Fig. 3(b)**). **Fig. 3(b)** ist identisch mit **Fig. 1(a)**, mit der Ausnahme, dass die mittige axiale Linie C21 einer Verbindungsöffnung 21, die sich von der ersten Ansaugbohrung 21ia unterscheidet, hinzugefügt ist. In einer Richtung orthogonal sowohl zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 als auch zu einer flachen Ebene betrachtet, welche die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia umfasst, unterscheidet sich die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia von den mittigen axialen Linien C21 aller anderen Verbindungsbohrungen 21 mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung 21ia von den Verbindungsbohrungen 21 (siehe **Fig. 3(a)**). **Fig. 3(a)** ist identisch mit **Fig. 1(a)**, mit der Ausnahme, dass die mittige axiale Linie C21 einer Verbindungsöffnung 21, die sich von der ersten Ansaugbohrung 21ia unterscheidet, hinzugefügt ist. Das heißt, **Fig. 3(a)** zeigt die mittigen axialen Linien C21 der Verbindungsbohrungen 21 in einer Richtung orthogonal sowohl zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 als auch zu einer flachen Ebene betrachtet, welche die mittige axiale Linie C21ia der ersten Ansaugbohrung 21ia umfasst. Zahl, Positionen, Formen und Größen der Verbindungsbohrungen 21 im fünften Ausführungsbeispiel sind nicht auf die in **Fig. 3(a)** und **Fig. 3(b)** dargestellten beschränkt. In einem Fall, in dem das fünfte Ausführungsbeispiel die Merkmale des zweiten Ausführungsbeispiels umfasst, kann sich in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet und in einer Richtung orthogonal sowohl zur mittigen axialen Linie C11 der Zylinderbohrung 11 und einer flachen Ebene, welche die mittige axiale Linie C21ib der zweiten Ansaugbohrung 21ib umfasst, die mittige axiale Linie C21ib der zweiten Ansaugbohrung 21ib von den mittigen axialen Linien C21 aller anderen Verbindungsbohrungen 21 mit Ausnahme der zweiten Ansaugbohrung 21ib von den Verbindungsbohrungen 21 unterscheiden.

Sechstes bis achttes Ausführungsbeispiel

[0079] Nachfolgend sind Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotoren 1 des sechsten bis achten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre in Bezug auf **Fig. 4**, **Fig. 5**, **Fig. 6(a)** und **Fig. 6(b)** beschrieben. **Fig. 4** zeigt wenigstens eine Ansaugöffnung 3, wenigstens eine Abgasöffnung 4 und mehrere Verbindungsbohrungen 21 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet. **Fig. 5** und **Fig. 6(a)** zeigen jeweils mehrere Verbindungsbohrungen 21 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet. **Fig. 6(b)** zeigt einen Querschnitt entlang einer Linie B-B in **Fig. 6(a)**. Das sechste Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis fünften Ausführungsbeispiels ein. Das siebte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis fünften Ausführungsbeispiels ein. Das achte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis fünften Ausführungsbeispiels ein. Zunächst sind die gemeinsamen Definitionen des sechsten bis achten Ausführungsbeispiels beschrieben. Eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung 21 überlappt und sich von der Verbindungsbohrung 21 in Richtung des Hauptbrennraums 2 erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer 20 zu verlaufen, ist als eine Richtungslinie H21 dieser Verbindungsbohrung 21 definiert (siehe **Fig. 4**). Der kürzeste Abstand zwischen der Richtungslinie H21 der Verbindungsbohrung 21 in einer Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie C23 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet zentriert ist, und wenigstens einer Ansaugöffnung 3 ist als der kürzeste Abstand L3 definiert (siehe **Fig. 4**). Der kürzeste Abstand L3 zwischen der Richtungslinie H21 der ersten Ansaugbohrung 21ia in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie C23 zentriert ist, und wenigstens einer Ansaugöffnung 3 ist gleich Null. Der kürzeste Abstand zwischen der Richtungslinie H21 der Verbindungsbohrung 21 in einer Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie C23 in der Zündkerzen-Axialrichtung DP betrachtet zentriert ist, und wenigstens einer Abgasöffnung 4 ist als der kürzeste Abstand L4 definiert (siehe **Fig. 4**). Von den Verbindungsbohrungen 21 ist eine Verbindungsbohrung 21 mit einer Richtungslinie H21, bei welcher der kürzeste Abstand L3 kürzer als der kürzeste Abstand L4 ist, als eine Ansaugbohrung 21i definiert (siehe **Fig. 4**). Die erste Ansaugbohrung 21ia entspricht einer Ansaugbohrung 21i. Im sechsten bis achten Ausführungsbeispiel umfassen die Verbindungsbohrungen 21 wenigstens eine Ansaugbohrung 21ia. Von den Verbindungsbohrungen 21 ist eine Verbindungsbohrung 21 mit einer Richtungslinie H21, bei welcher der kürzeste Abstand L4 kürzer als der kürzeste Abstand L3 ist, als eine Abgasbohrung 21e definiert (siehe **Fig. 4**). In der sechsten

bis achten Ausführungsbeispiel umfassen die Verbindungsbohrungen 21 mehrere Abgasbohrungen 21e. Während der in **Fig. 4** dargestellte Hauptbrennraum 2 zwei Ansaugöffnungen 3 aufweist, kann der Hauptbrennraum 2 auch eine einzige Ansaugöffnung 3 aufweisen. Während der in **Fig. 4** dargestellte Hauptbrennraum 2 zwei Abgasöffnungen 4 aufweist, kann der Hauptbrennraum 2 auch eine einzige Abgasöffnung 4 aufweisen.

[0080] Im sechsten Ausführungsbeispiel umfassen die Verbindungsbohrungen 21 Ansaugbohrungen 21i, deren Zahl kleiner ist als die der Abgasbohrungen 21e (siehe beispielsweise **Fig. 4**). Wenn das sechste Ausführungsbeispiel die Merkmale des zweiten Ausführungsbeispiels umfasst, können die Ansaugbohrungen 21i nur aus einer ersten Ansaugbohrung 21ia und einer zweiten Ansaugbohrung 21ib oder aus drei oder mehr Ansaugbohrungen 21i bestehen.

[0081] Im siebten Ausführungsbeispiel ist der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia größer als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen 21e (siehe beispielsweise **Fig. 5**). Im siebten Ausführungsbeispiel kann die Zahl der Ansaugbohrungen 21i eins oder mehrere betragen. Im siebten Ausführungsbeispiel können die Mindestdurchmesser der Ansaugbohrungen 21i alle größer sein als die maximalen Durchmesser der Abgasbohrungen 21e. Wenn das siebte Ausführungsbeispiel die Merkmale des siebten Ausführungsbeispiels umfasst, ist der Mindestdurchmesser der zweiten Ansaugbohrung 21ib vorzugsweise größer als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen 21e.

[0082] Im achten Ausführungsbeispiel ist die erste Ansaugbohrung 21ia so gebildet, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt, während die Abgasbohrungen 21e nicht so gebildet sind, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt (siehe beispielsweise **Fig. 6(a)** und **Fig. 6(b)**). Im achten Ausführungsbeispiel ist der maximale Durchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia vorzugsweise größer als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen 21e. Im achten Ausführungsbeispiel kann die Zahl der Ansaugbohrungen 21i eins oder mehrere betragen. Im achten Ausführungsbeispiel können die Ansaugbohrungen 21i alle so gebildet sein, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt. Im achten Ausführungsbeispiel kann wenigstens eine Ansaugbohrung 21i von den Ansaugbohrungen 21i so gebildet sein, dass der Durchmesser konstant ist. Wenn das achte Ausführungsbeispiel die Merkmale des zweiten Ausführungsbeispiels umfasst, ist die zweite Ansaugbohrung 21ib vorzugsweise so gebildet, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt.

[0083] Das siebte Ausführungsbeispiel und das achte Ausführungsbeispiel können die Merkmale des sechsten Ausführungsbeispiels aufweisen oder auch nicht. Im siebten Ausführungsbeispiel und/oder achten Ausführungsbeispiel können die Verbindungsbohrungen 21 Ansaugbohrungen 21i umfassen, deren Zahl größer gleich der der Abgasbohrungen 21e ist. Das sechste Ausführungsbeispiel und das achte Ausführungsbeispiel können die Merkmale des siebten Ausführungsbeispiels aufweisen oder auch nicht. Im sechsten und/oder achten Ausführungsbeispiel kann der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia kleiner gleich dem maximalen Durchmesser wenigstens einer Abgasbohrung 21e der Abgasbohrungen 21e sein. Das sechste Ausführungsbeispiel und das siebte Ausführungsbeispiel können die Merkmale des achten Ausführungsbeispiels aufweisen oder auch nicht. Im sechsten und/oder siebten Ausführungsbeispiel ist die erste Ansaugbohrung 21ia gegebenenfalls nicht so gebildet, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt. Im sechsten und/oder siebten Ausführungsbeispiel können die Abgasöffnungen 21e so gebildet sein, dass ihr Durchmesser in Richtung des Hauptbrennraums 2 zunimmt.

Neuntes Ausführungsbeispiel

[0084] Ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des neunten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre ist in Bezug auf **Fig. 7** beschrieben. Das neunte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis achten Ausführungsbeispiels ein. Im neunten Ausführungsbeispiel sind die Verbindungsbohrungen 21 im in den Innenraum des Hauptbrennraums 2 hineinragenden Vorkammer-Wandabschnitt 22 gebildet. Darüber hinaus ist im neunten Ausführungsbeispiel die Vorkammer 20 so gebildet, dass der Grad des Vorsprungs des Vorkammer-Wandabschnitts 22 im Vergleich zum Volumen der Vorkammer 20 klein ist. Genauer gesagt ist die Vorkammer 20 so gebildet, dass, wenn der Innenraum der Vorkammer 20 durch eine der flachen Ebenen S, die durch den Innenraum der Vorkammer 20 verläuft, ohne durch die Außenfläche des Vorkammer-Wandabschnitts 22 zu verlaufen, und die orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung DP, in zwei Räume geteilt wird, das Volumen des Raums nahe dem Hauptbrennraum 2 von den zwei Räumen kleiner ist als das Volumen des Raums entfernt vom Hauptbrennraum 2 von den zwei Räumen. Die in **Fig. 7** dargestellte flache Ebene S ist nur ein Beispiel für eine flache Ebene S, die nicht durch die Außenfläche des Vorkammer-Wandabschnitts 22, sondern durch den Innenraum der Vorkam-

mer 20 verläuft und orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung DP ist. Die Außenfläche des Vorkammer-Wandabschnitts 22 ist eine zum Hauptbrennraum 2 freigelegte Fläche.

Zehntes Ausführungsbeispiel

[0085] Ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des zehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre ist in Bezug auf **Fig. 8** beschrieben. Das zehnte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis neunten Ausführungsbeispiels ein. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des zehnten Ausführungsbeispiels weist keinen Klopfsensor auf. Das Steuergerät 70 steuert die Vorkammer-Zündkerze 23 so, dass sie ein Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Vorkammer 20 zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt zündet, basierend auf einer Ausgabe eines Fahrzustands-Erfassungssensors 71, der ausgebildet ist, den Fahrzustand des Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors 1 zu erfassen, und kein Klopfsensor ist.

[0086] In diesem Zusammenhang zeigt ein Graph in **Fig. 8** einen Teil eines Ergebnisses der von den vorliegenden Erfindern durchgeführten Versuche. CA50, das auf der horizontalen Achse dieses Graphen angegeben ist, steht für einen Kurbelwinkel mit 50 % verbranntem Massenanteil, das heißt einen Kurbelwinkel, bei dem das Verbrennungsverhältnis 50 % beträgt. Der Graph zeigt eine Klopfspitzen-Standardabweichung KPa, wenn der CA50-Wert bei einem Viertaktmotor der Beispiele 1 bis 3 und des Vergleichsbeispiels 1 geändert wird. Der Motor aus Vergleichsbeispiel 1 umfasst keine Vorkammer. Der Motor der Beispiele 1 und 2 ist mit einem Kühlmantel um eine Vorkammer-Zündkerze ausgestattet. Der Motor von Beispiel 3 weist keinen Kühlmantel um eine Vorkammer-Zündkerze auf. Der Motor des Beispiels 1 unterscheidet sich vom Motor des Beispiels 2 in Bezug auf die Struktur eines Elektrodenabschnitts einer Vorkammer-Zündkerze. Der Motor von Beispiel 3 ist hinsichtlich der Struktur eines Elektrodenabschnitts einer Vorkammer-Zündkerze mit dem Motor von Beispiel 1 identisch. In den Beispielen 1 bis 3 und im Vergleichsbeispiel 1 sind die Testbedingungen abweichend von den zuvor genannten identisch. Der Fahrbereich des Motors ist auf sowohl einen Hochlastbereich als auch einen mittleren Motordrehzahlbereich festgelegt. Der Hochlastbereich ist ein Bereich, der eine höhere Hälfte eines Bereichs zwischen der minimalen Motorlast und der maximalen Motorlast darstellt. Der mittlere Motordrehzahlbereich sind zwei mittlere Bereiche von vier Bereichen, die durch die Unterteilung eines Bereichs zwischen der minimalen Motordrehzahl und der maximalen Motordrehzahl in vier Bereiche gebildet werden. Wie aus dem Graphen hervorgeht steigt beim Motor des Vergleichsbeispiels 1 ohne Vorkammer die Klopfspitzen-Standardabweichung KPa bei einem bestimmten Zündzeitpunkt sehr schnell an, wenn der Zündzeitpunkt voreilt. Andererseits steigt die Klopfspitzen-Standardabweichung KPa bei den Motoren der Beispiele 1 bis 3, die eine Vorkammer umfassen, nicht schnell, sondern nur leicht an, selbst wenn der Zündzeitpunkt voreilt. Durch Versuche mit verschiedenen Bedingungen der Last und der Motordrehzahl fanden die vorliegenden Erfinder heraus, dass ähnliche Tendenzen unter den anderen Bedingungen beobachtet wurden.

Elftes Ausführungsbeispiel

[0087] Nachfolgend ist ein Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor 1 des elften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre beschrieben. Das elfte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis zehnten Ausführungsbeispiels ein. Im elften Ausführungsbeispiel ist die Gesamtfläche eines Querschnitts orthogonal zur mittigen axialen Linie C21 von jeder der Verbindungsbohrungen 21 größer gleich $5,7 \text{ mm}^2$ und kleiner gleich $7,6 \text{ mm}^2$.

[0088] In diesem Zusammenhang zeigt ein Graph in **Fig. 9** einen Teil eines Ergebnisses der von den vorliegenden Erfindern durchgeführten Versuche. Nachfolgend ist die Gesamtfläche eines Querschnitts orthogonal zur mittigen axialen Linie von jeder der Verbindungsbohrungen, die den Innenraum des Hauptbrennraums mit dem Innenraum der Vorkammer verbinden, als eine Gesamtbohrungsfläche bezeichnet. **Fig. 9** zeigt IMEPcov, der ein Koeffizient von IMEP (angegebener mittlerer effektiver Druck) ist, wenn CA50 im Viertaktmotor von jedem der Beispiele 4 bis 7 und der Vergleichsbeispiele 2 bis 4 geändert wird. CA50 wurde bereits im zehnten Ausführungsbeispiel erläutert. IMEP ist ein Wert, der berechnet wird, indem eine Arbeit pro Zyklus durch einen Kolbenhubraum des Motors geteilt wird. Je niedriger IMEPcov ist, desto höher ist die Verbrennungsstabilität. In den Beispielen 4 bis 7 und den Vergleichsbeispielen 2 bis 4 sind die Testbedingungen identisch. Der Motor aus Vergleichsbeispiel 2 umfasst keine Vorkammer. Der Motor von Vergleichsbeispiel 2 ist mit den Motoren der Beispiele 4 bis 7 und der Vergleichsbeispiele 3 und 4 identisch mit Ausnahme des Vorhandenseins/Nichtvorhandenseins der Vorkammer. Die Gesamtbohrungsflächen der Motoren von Beispiel 4 bis 7 und der Vergleichsbeispiele 3 und 4 sind in der nachstehenden Tabelle 1 aufgeführt. Die Motoren von

Beispiel 4 bis 7 und der Vergleichsbeispiele 3 und 4 sind bis auf die Anordnung der Verbindungsbohrungen identisch.

Tabelle 1

	GESAMTFLÄCHE mm ²
VERGLEICHSBEISPIEL 2	(KEINE VORKAMMER)
VERGLEICHSBEISPIEL 3	5,0
BEISPIEL 4	5,7
BEISPIEL 5	6,3
BEISPIEL 6	6,8
BEISPIEL 7	7,6
VERGLEICHSBEISPIEL 4	9,0

[0089] Im Graphen von **Fig. 9** ist die Verbrennungsstabilität im Vergleichsbeispiel 3, in dem die Gesamtbohrungsfläche weniger als 5,7 mm² beträgt, und im Vergleichsbeispiel 4, in dem die Gesamtbohrungsfläche mehr als 7,6 mm² beträgt, im Vergleich zu Vergleichsbeispiel 2, in dem die Vorkammer nicht vorgesehen ist, teilweise niedrig. Andererseits ist die Verbrennungsstabilität in den Beispielen 4 bis 7, in denen die Gesamtbohrungsfläche nicht kleiner als 5,7 mm² und nicht größer als 7,6 mm² ist, im Vergleich zum Vergleichsbeispiel 2 hoch. Die Verbrennungsstabilität ist in den Beispielen 5 und 6 hoch, deren Gesamtbohrungsfläche größer als die von Beispiel 4 und kleiner als die von Beispiel 7 ist, verglichen mit den Beispielen 4 und 7. Die Verbrennungsstabilität von Beispiel 4 und die Verbrennungsstabilität von Beispiel 7 liegen auf dem gleichen Niveau. Aus dem Graphen von **Fig. 9** geht daher hervor, dass die Gesamtbohrungsfläche vorzugsweise nicht kleiner als 5,7 mm² und nicht größer als 7,6 mm² ist.

Zwölftes Ausführungsbeispiel

[0090] Nachfolgend ist ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des zwölften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre beschrieben. Das zwölfte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis elften Ausführungsbeispiels ein. Im zwölften Ausführungsbeispiel beträgt der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21a 1,0 mm oder mehr und 1,2 mm oder weniger und das Volumen der Vorkammer 20 beträgt 328 mm³ oder mehr und 802 mm³ oder weniger.

[0091] In diesem Zusammenhang zeigt ein Graph jeweils in **Fig. 10(a)** und **Fig. 10(b)** einen Teil eines Ergebnisses der von den vorliegenden Erfindern durchgeführten Versuche. **Fig. 10(a)** zeigt IMEPcov, wenn CA50 im Viertaktmotor der Beispiele 8 und 9 und der Vergleichsbeispiele 5 und 6 geändert wird. In den Beispielen 8 und 9 und den Vergleichsbeispielen 5 und 6 sind die Testbedingungen identisch. Der Motor aus Vergleichsbeispiel 5 umfasst keine Vorkammer. Der Motor des Vergleichsbeispiels 5 ist mit den Motoren der Beispiele 8 und 9 und des Vergleichsbeispiels 6 identisch, mit Ausnahme des Vorhandenseins/Nichtvorhandenseins der Vorkammer. Die Gesamtbohrungsflächen der Vorkammern der Motoren der Beispiele 8 und 9 und des Vergleichsbeispiels 6 sind in der nachstehenden Tabelle 2 aufgeführt. Die Motoren der Beispiele 8 und 9 und des Vergleichsbeispiels 6 sind bis auf die Anordnung der Vorkammer identisch. Die Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrungen 21a der Motoren der Beispiele 8 und 9 und des Vergleichsbeispiels 6 sind identisch und liegen jeweils zwischen 1,0 mm und 1,2 mm einschließlich. Im Graphen von **Fig. 10(a)** ist die Verbrennungsstabilität im Vergleichsbeispiel 6, in dem das Volumen der Vorkammer größer als 802 mm³ ist, niedriger als die Verbrennungsstabilität im Vergleichsbeispiel 5, in dem die Vorkammer nicht vorhanden ist. Die Verbrennungsstabilität in Vergleichsbeispiel 9, in dem das Volumen der Vorkammer 802 mm³ beträgt, ist mehr oder weniger identisch mit der Verbrennungsstabilität im Vergleichsbeispiel 5, in dem die Vorkammer nicht vorhanden ist. Die Verbrennungsstabilität im Vergleichsbeispiel 8, in dem das Volumen der Vorkammer kleiner als 802 mm³ ist, ist höher als die Verbrennungsstabilität jeweils im Beispiel 9 und Vergleichsbeispiel 5.

Tabelle 2

	VOLUMEN mm ³
VERGLEICHSBEISPIEL 5	(KEINE VORKAMMER)
BEISPIEL 8	570

	VOLUMEN mm ³
VERGLEICHBSBEISPIEL 5	(KEINE VORKAMMER)
BEISPIEL 9	802
VERGLEICHBSBEISPIEL 6	919

[0092] Fig. 10(b) zeigt IMEPCov, wenn die Motordrehzahl im Viertaktmotor von jedem der Beispiele 10 bis 12 und des Vergleichsbeispiels 7 geändert wird. In den Beispielen 10 bis 12 und dem Vergleichsbeispiel 7 sind die Testbedingungen identisch. Der Motor aus Vergleichsbeispiel 7 umfasst keine Vorkammer. Die Volumina der Vorkammern der Motoren von Beispiel 10 bis 12 sind in der nachstehenden Tabelle 3 aufgeführt. Die Motoren der Beispiele 10 bis 12 sind bis auf die Anordnung der Vorkammer miteinander identisch. Während das Volumen der Vorkammer von Beispiel 10 in Tabelle 3 mit 329 mm³ angegeben ist, beträgt das Volumen im engeren Sinne 328,7 mm³. Der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia beträgt bei jedem der Motoren der Beispiele 10 bis 12 und des Vergleichsbeispiels 7 1,2 mm. Bei der Verkleinerung des Volumens einer Vorkammer gibt es in der Regel strukturelle Einschränkungen. 328,7 mm³, welches der Wert des Volumens der Vorkammer in Beispiel 10 ist, ist der Mindestwert des Volumens der Vorkammer, der auf der Grundlage der strukturellen Einschränkungen bestimmt wird. Wie der Graph in Fig. 10(b) zeigt, ändert sich die Verbrennungsstabilität nicht so sehr, selbst wenn das Volumen der Vorkammer auf den Mindestwert des Volumens der Vorkammer geändert wird, der auf der Grundlage der strukturellen Einschränkungen bestimmt wird.

Tabelle 3

	VOLUMEN mm ³
VERGLEICHBSBEISPIEL 7	(KEINE VORKAMMER)
BEISPIEL 10	329
BEISPIEL 11	387
BEISPIEL 12	445

[0093] In Bezug auf die Graphen in Fig. 10(a) und Fig. 10(b) beträgt das Volumen der Vorkammer vorzugsweise 328 mm³ oder mehr und 802 mm³ oder weniger, wenn der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia 1,0 mm oder mehr und 1,2 mm oder weniger beträgt.

Dreizehntes Ausführungsbeispiel

[0094] Nachfolgend ist ein Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor 1 des dreizehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Lehre beschrieben. Das dreizehnte Ausführungsbeispiel schließt wenigstens eines der Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels bis elften Ausführungsbeispiels ein. Im dreizehnten Ausführungsbeispiel beträgt der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia 1,2 mm oder mehr und 1,4 mm oder weniger und das Volumen der Vorkammer 20 beträgt 328 mm³ oder mehr und 1151 mm³ oder weniger.

[0095] In diesem Zusammenhang zeigt ein Graph in Fig. 11 einen Teil eines Ergebnisses der von den vorliegenden Erfindern durchgeführten Versuche. Fig. 11 zeigt IMEPCov, wenn CA50 im Viertaktmotor von jedem der Beispiele 13 bis 19 und des Vergleichsbeispiels 8 geändert wird. In den Beispielen 13 bis 19 und dem Vergleichsbeispiel 8 sind die Testbedingungen identisch. Der Motor aus Vergleichsbeispiel 8 umfasst keine Vorkammer. Der Motor des Vergleichsbeispiels 8 ist bis auf das Vorhandensein/Nichtvorhandensein der Vorkammer mit den Motoren der Beispiele 13 bis 19 identisch. Die Volumina der Vorkammern der Motoren von Beispiel 13 bis 19 sind in der nachstehenden Tabelle 4 aufgeführt. Die Motoren der Beispiele 13 bis 19 sind bis auf die Anordnung der Vorkammer miteinander identisch. Die Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrungen 21ia der Motoren der Beispiele 13 bis 19 sind identisch und jeder dieser Durchmesser liegt zwischen 1,2 mm und 1,4 mm einschließlich. Die Vergrößerung des Volumens einer Vorkammer unterliegt in der Regel strukturellen Beschränkungen. 1151 mm³, welches der Wert des Volumens der Vorkammer in Beispiel 19 ist, ist der maximale Wert des Volumens der Vorkammer, der auf der Grundlage der strukturellen Einschränkungen bestimmt wird. Im Graphen von Fig. 11 ist jede der Verbrennungsstabilitäten in den Beispielen 13 bis 19 höher als die des Vergleichsbeispiels 8, in dem die Vorkammer nicht vorhanden ist.

Tabelle 4

	VOLUMEN mm ³
VERGLEICHBSBEISPIEL 8	(KEINE VORKAMMER)
BEISPIEL 13	570
BEISPIEL 14	628
BEISPIEL 15	686
BEISPIEL 16	802
BEISPIEL 17	919
BEISPIEL 18	1035
BEISPIEL 19	1151

[0096] Obwohl das Testergebnis nicht dargestellt ist, ist die Verbrennungsstabilität des Motors mit der Vorkammer, dessen Volumen der gemäß den strukturellen Einschränkungen festgelegte Mindestwert ist und 328,7 mm³ beträgt, höher als die Verbrennungsstabilität eines Motors ohne Vorkammer, selbst wenn der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia größer als 1,2 mm und nicht größer als 1,4 mm ist. Aus diesem Grund beträgt das Volumen der Vorkammer in Bezug auf den Graphen in **Fig. 11** vorzugsweise 328 mm³ oder mehr und 1151 mm³ oder weniger, wenn der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung 21ia 1,2 mm oder mehr und 1,4 mm oder weniger beträgt.

[0097] Die vorliegende Lehre ist nicht auf die zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt und es können verschiedene Änderungen innerhalb des Umfangs der Ansprüche vorgenommen werden. Die Verbindungsbohrungen können beispielsweise in einem Vorkammer-Wandabschnitt gebildet sein, der nicht in den Innenraum des Hauptbrennraums hineinragt. Beispielsweise kann der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor der vorliegenden Lehre einen Kompressor oder einen Turbolader umfassen. Der Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor kann ein Hauptbrennraum-Kraftstoffeinspritzventil umfassen, das so ausgebildet ist, dass es Kraftstoff in das Innere des Hauptbrennraums einspritzt. Das Verdichtungsverhältnis des Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotors der vorliegenden Lehre kann weniger als 11 betragen.

Bezugszeichenliste

[0098] 1 Vorkammerv Verbrennungs-Viertaktmotor, 2 Hauptbrennraum, 3 Ansaugöffnung, 4 Abgasöffnung, 3a erste Ansaugöffnung, 5 Ansaugleitung, 6 Abgasleitung, 7 Drosselklappe, 8 Ansaugleitungs-Einspritzventil, 10 Zylinderkopf, 11 Zylinderbohrung, 13 Ansaugventil, 14 Ventilkopf, 20 Vorkammer, 21 Verbindungsbohrung, 21ia erste Ansaugbohrung, 21i Ansaugbohrung, 21e Abgasbohrung, 22 Vorkammer-Wandabschnitt, 23 Vorkammer-Zündkerze, 70 Steuergerät, 71 Fahrzustands-Erfassungssensor, C3a Mitte der ersten Ansaugöffnung, C11 mittige axiale Linie der Zylinderbohrung, C21 mittige axiale Linie der Verbindungsbohrung, C21ia mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung, C23 mittige axiale Linie der Vorkammer-Zündkerze, DP Zündkerzen-Axialrichtung, H21 Richtungslinie, L1 Länge des Innenraums der Vorkammer in Zündkerzen-Axialrichtung, L2 maximale Länge des Innenraums der Vorkammer in Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung, L3, L4 kürzester Abstand, LSa Liniensegment, S flache Ebene, θ Winkel

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US-Patent Nr. 10612454 [0003]

Patentansprüche

1. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor, der folgende Merkmale aufweist:

- einen Hauptbrennraum, der wenigstens eine Ansaugöffnung, an die eine Ansaugleitung angeschlossen ist, und wenigstens eine Abgasöffnung, an die eine Abgasleitung angeschlossen ist, umfasst;
- eine Drosselklappe, die so ausgebildet ist, dass dieselbe eine Luftmenge anpasst, die durch die Ansaugleitung strömt und in den Hauptbrennraum gesaugt wird;
- ein Ansaugleitungs-Einspritzventil, das so ausgebildet ist, dass dasselbe in das Innere der Ansaugleitung flüssigen Kraftstoff einspritzt, bei dem es sich um Benzinkraftstoff, Alkoholkraftstoff oder eine Mischung aus Benzin und Alkohol handelt;
- eine Vorkammer, die in einem Zylinderkopf so gebildet ist, dass dieselbe ein kleineres Volumen als der Hauptbrennraum aufweist und einen Innenraum aufweist, der mit einem Innenraum des Hauptbrennraums durch Verbindungsbohrungen in Verbindung steht und zu dem eine Vorkammer-Zündkerze teilweise freiliegt; und
- ein Steuergerät, das so ausgebildet ist, dass dasselbe das Ansaugleitungs-Einspritzventil und die Vorkammer-Zündkerze steuert, wobei
 - (a) das Steuergerät das Ansaugleitungs-Einspritzventil so steuert, dass wenigstens in einem Teil eines Niedriglastbereichs, in dem der Öffnungsgrad der Drosselklappe klein ist, eine Einspritzung von flüssigem Kraftstoff beendet wird, bevor der Mittelpunkt zwischen einem oberen Abgas-Totpunkt und einem unteren Ansaug-Totpunkt erreicht wird, und ein Luft-Kraftstoff-Gemisch, das in der Ansaugleitung und im Hauptbrennraum gemischt wird, entweder ein erstes Luft-Kraftstoff-Verhältnis aufweist, bei dem das Luft-Kraftstoff-Gemisch nach der Verbrennung durch einen Dreiwegekatalysator verarbeitbar ist, oder ein zweites Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das fetter ist als das erste Luft-Kraftstoff-Verhältnis,
 - (b) der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor kein Vorkammer-Kraftstoffeinspritzventil aufweist, das so ausgebildet ist, dass dasselbe Kraftstoff in die Vorkammer einspritzt, und der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor keine Zündunterstützungsvorrichtung aufweist, die so ausgebildet ist, dass dieselbe die Zündung eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in der Vorkammer oder im Hauptbrennraum unterstützt,
 - (c) um das Verhältnis der Fläche einer Innenfläche der Vorkammer zum Volumen der Vorkammer zu reduzieren, (i) die Innenfläche der Vorkammer mit Ausnahme der Vorkammer-Zündkerze keinen Vorsprung aufweist, und (ii) die längere von der Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Zündkerzen-Axialrichtung parallel zur mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze und der maximalen Länge des Innenraums der Vorkammer in einer Richtung orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung kürzer ist als das Doppelte der kürzeren der Längen,
 - (d) um zu erleichtern, dass der in die Ansaugleitung eingespritzte flüssige Kraftstoff von einer ersten Ansaugöffnung von der wenigstens einen Ansaugöffnung durch eine erste Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen in die Vorkammer eingeleitet wird, die erste Ansaugöffnung so gebildet ist, dass (i) bei Betrachtung in der Zündkerzen-Axialrichtung ein Winkel θ zwischen einem Liniensegment, das die mittige axiale Linie der Vorkammer-Zündkerze mit der Mitte der ersten Ansaugöffnung verbindet, und der mittigen axialen Linie der ersten Ansaugbohrung eine Bedingung von $-17 \text{ Grad} < \theta < 17 \text{ Grad}$ erfüllt, und (ii) wenn ein Ansaugventil, das ausgebildet ist, die erste Ansaugöffnung zu öffnen und zu schließen, und die erste Ansaugöffnung geöffnet ist, in einem Querschnitt entlang einer flachen Ebene, die parallel zur mittigen axialen Linie einer Zylinderbohrung ist, die den Hauptbrennraum bildet, und die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung zwischen einem Ventilkopf des Ansaugventils und der ersten Ansaugöffnung verläuft.

2. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß Anspruch 1, wobei, um zu bewirken, dass der durch die erste Ansaugbohrung in die Vorkammer eingeführte flüssige Kraftstoff mit geringerer Wahrscheinlichkeit durch die Verbindungsbohrungen ausgestoßen wird, die Verbindungsbohrungen so geformt sind, dass bei Betrachtung in der Zündkerzen-Axialrichtung und bei Betrachtung in einer Richtung orthogonal zu sowohl der mittigen axialen Linie der Zylinderbohrung als auch einer flachen Ebene, welche die mittige axiale Linie der ersten Ansaugbohrung umfasst, die Mittelachse der ersten Ansaugbohrung sich von den mittigen axialen Linien aller anderen Verbindungsbohrungen mit Ausnahme der ersten Ansaugbohrung von den Verbindungsbohrungen unterscheidet.

3. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, jede der Ansaugbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind und die erste Ansaugbohrung umfassen, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der

Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in einer Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, und die Zahl der Ansaugbohrungen kleiner ist als die der Abgasbohrungen.

4. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, und der Mindestdurchmesser der ersten Ansaugbohrung größer ist als der maximale Durchmesser der Abgasbohrungen.

5. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei wenn eine halbe Linie, welche die mittige axiale Linie einer Verbindungsbohrung überlappt und sich von der Verbindungsbohrung in Richtung des Hauptbrennraums erstreckt, ohne im Innenraum der Vorkammer zu verlaufen, als eine Richtungslinie der Verbindungsbohrung definiert ist, jede der Abgasbohrungen, die mehr als eine der Verbindungsbohrungen sind, eine Richtungslinie aufweist, die so angeordnet ist, dass der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Abgasöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, kürzer ist als der kürzeste Abstand von der Richtungslinie zur wenigstens einen Ansaugöffnung in der Umfangsrichtung, die auf der mittigen axialen Linie der Vorkammer-Zündkerze zentriert ist, wenn in der Zündkerzen-Axialrichtung betrachtet, die erste Ansaugbohrung so geformt ist, dass der Durchmesser der ersten Ansaugbohrung in Richtung des Hauptbrennraums zunimmt, und sich die Form von jeder der Abgasbohrungen von einer Form unterscheidet, bei welcher der Durchmesser der Abgasbohrung zum Hauptbrennraum hin zunimmt.

6. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Gesamtfläche von Querschnitten der Verbindungsbohrungen orthogonal zur mittigen axialen Linie von jeder der Verbindungsbohrungen $5,7 \text{ mm}^2$ oder mehr und $7,6 \text{ mm}^2$ oder weniger beträgt.

7. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Minstdurchmesser der ersten Ansaugbohrung $1,0 \text{ mm}$ oder mehr und $1,2 \text{ mm}$ oder weniger beträgt, und das Volumen der Vorkammer 328 mm^3 oder mehr und 802 mm^3 oder weniger beträgt.

8. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Minstdurchmesser der ersten Ansaugbohrung $1,2 \text{ mm}$ oder mehr und $1,4 \text{ mm}$ oder weniger beträgt, und das Volumen der Vorkammer 328 mm^3 oder mehr und 1151 mm^3 oder weniger beträgt.

9. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Verbindungsbohrungen in einem Vorkammer-Wandabschnitt gebildet sind, der in den Innenraum des Hauptbrennraums hineinragt, und die Vorkammer so gebildet ist, dass, wenn der Innenraum der Vorkammer durch eine der flachen Ebenen, die durch den Innenraum der Vorkammer verläuft, ohne durch eine Außenfläche des Vorkammer-Wandabschnitts zu verlaufen, und die orthogonal zur Zündkerzen-Axialrichtung ist, in zwei Räume geteilt wird, das

Volumen des Raums nahe dem Hauptbrennraum von den zwei Räumen kleiner ist als das Volumen des Raums entfernt vom Hauptbrennraum von den zwei Räumen.

10. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor keinen Klopfsensor aufweist, und das Steuergerät die Vorkammer-Zündkerze steuert, um ein Luft-Kraftstoff-Gemisch in der Vorkammer zu einem vorbestimmten Zündzeitpunkt zu zünden, basierend auf einer Ausgabe eines Fahrzustands-Erfassungssensors, der ausgebildet ist, einen Fahrzustand des Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotors zu erfassen, und der sich von einem Klopfsensor unterscheidet.

11. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor keinen Kompressor aufweist und der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor keinen Turbolader aufweist.

12. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor kein Hauptbrennraum-Kraftstoffeinspritzventil aufweist, das zum Einspritzen von Kraftstoff in den Hauptbrennraum ausgebildet ist.

13. Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei ein Verdichtungsverhältnis des Vorkammervverbrennungs-Viertaktmotors 11 oder mehr beträgt.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

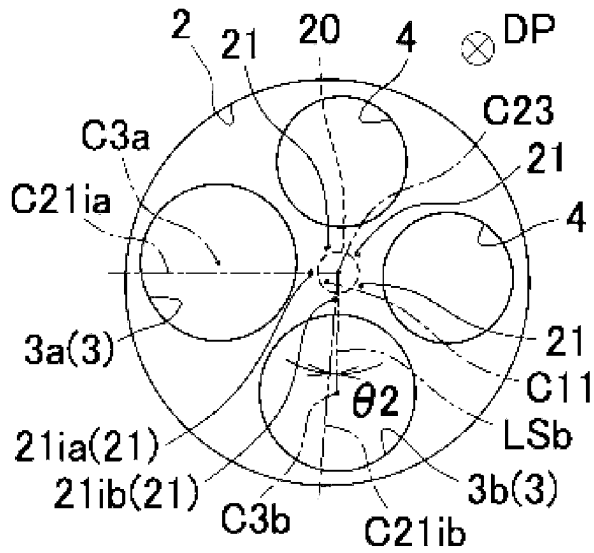


Fig. 2A

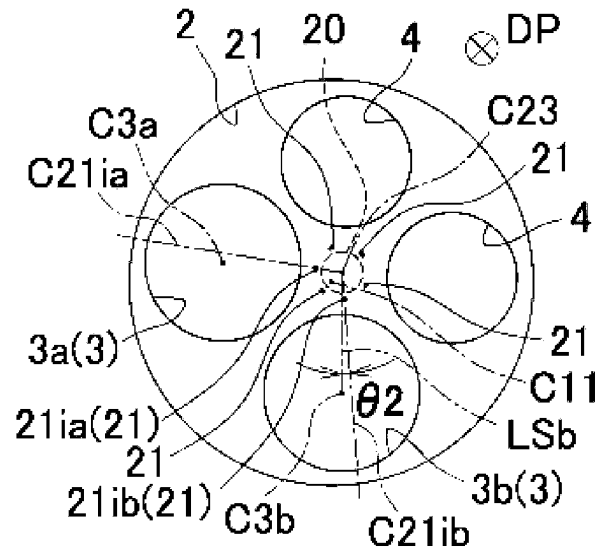


Fig. 2B

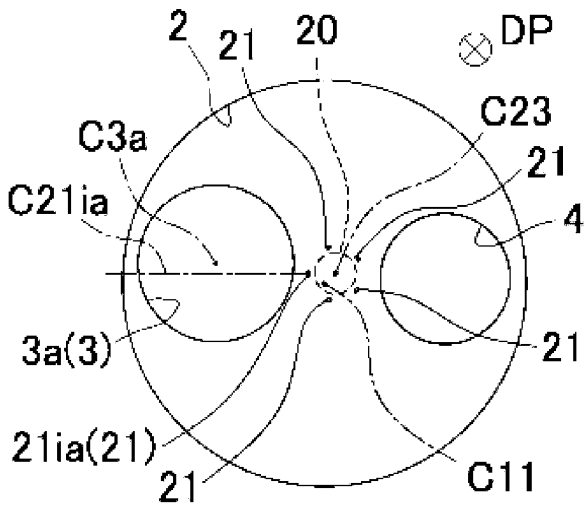


Fig. 2C

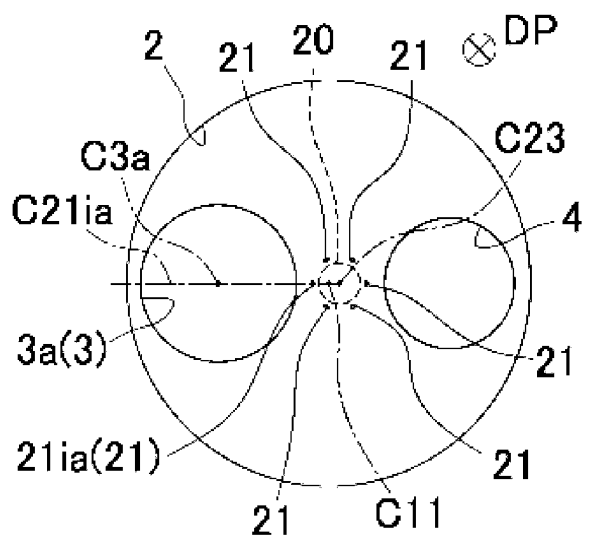


Fig. 2D

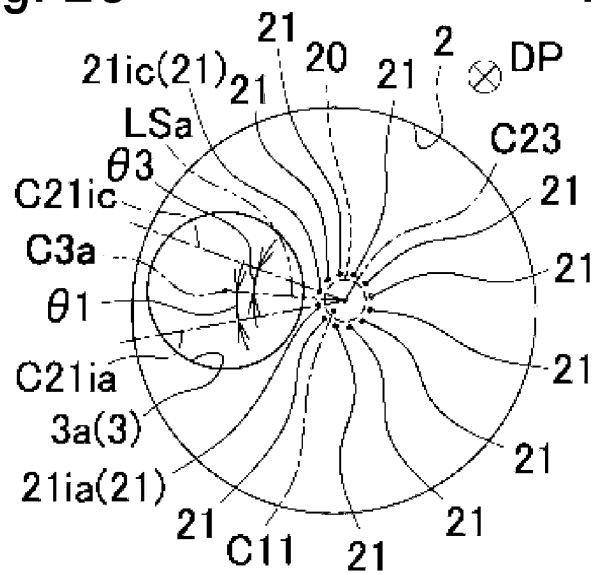


Fig. 2E

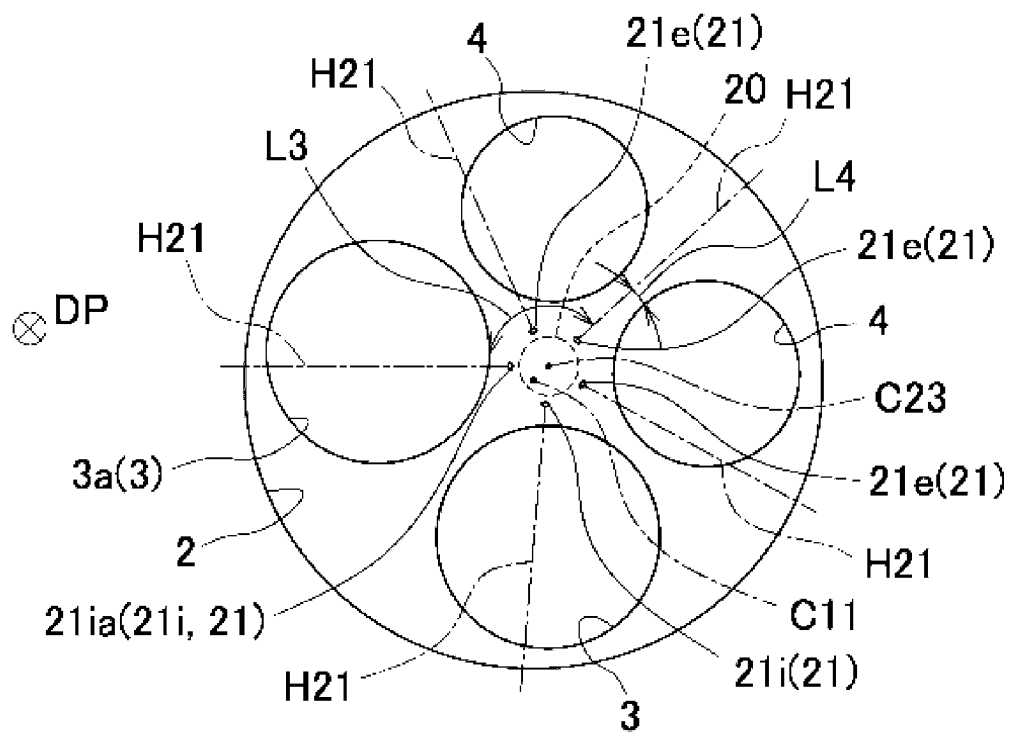


Fig. 4

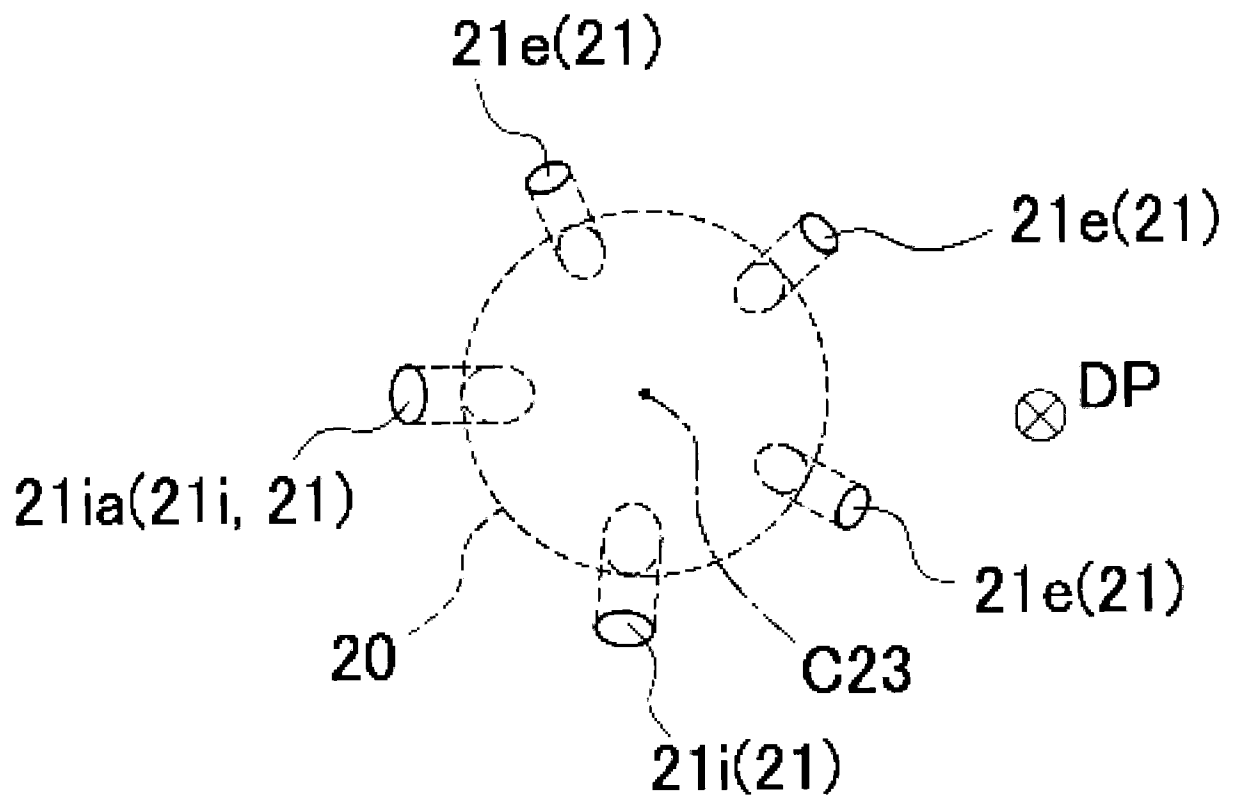


Fig. 5

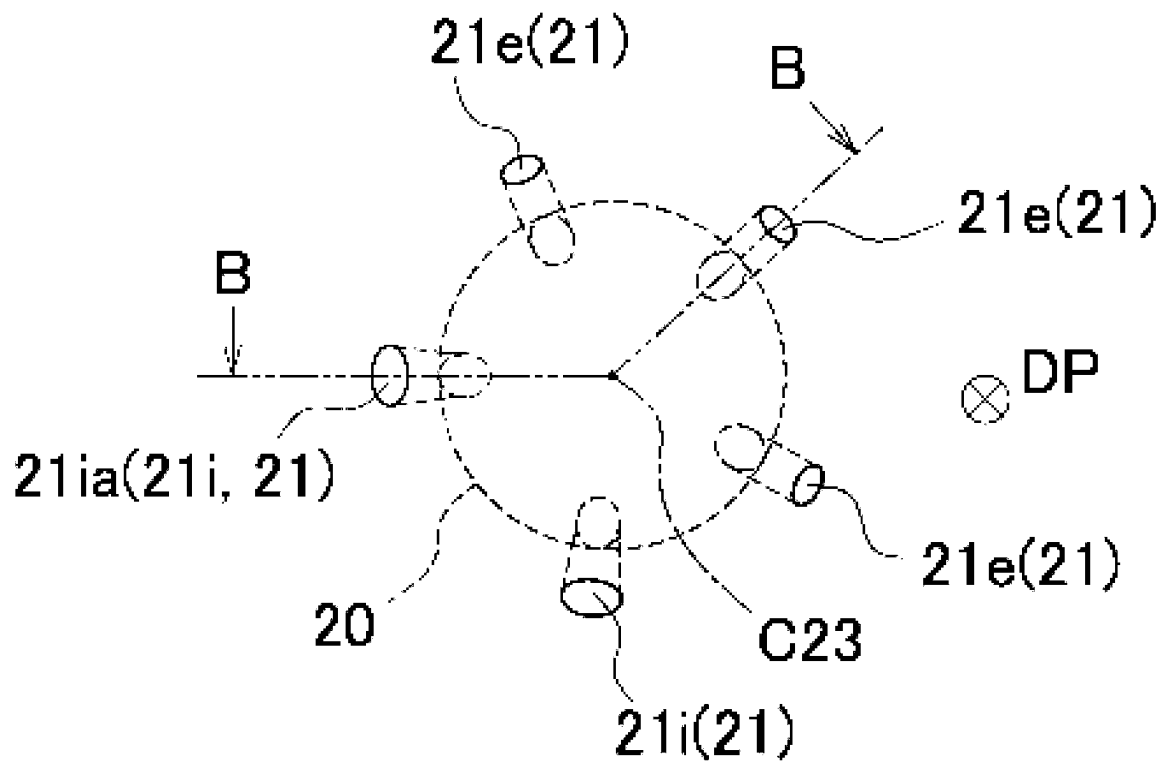
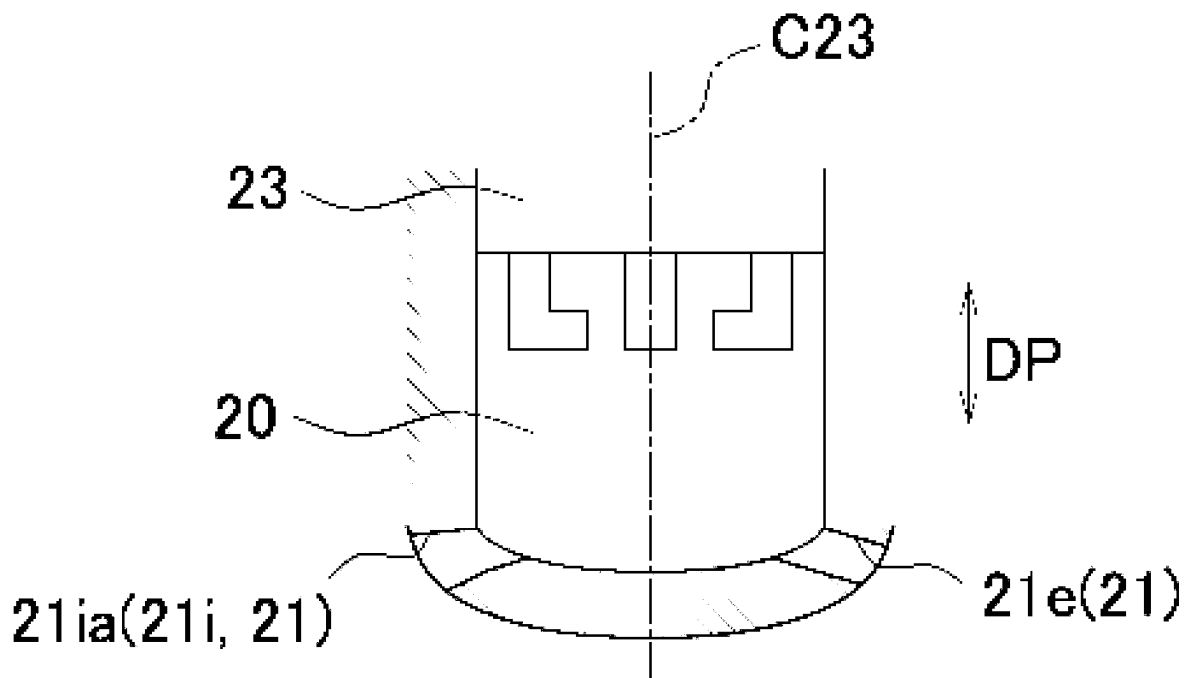


Fig. 6A



2

Fig. 6B

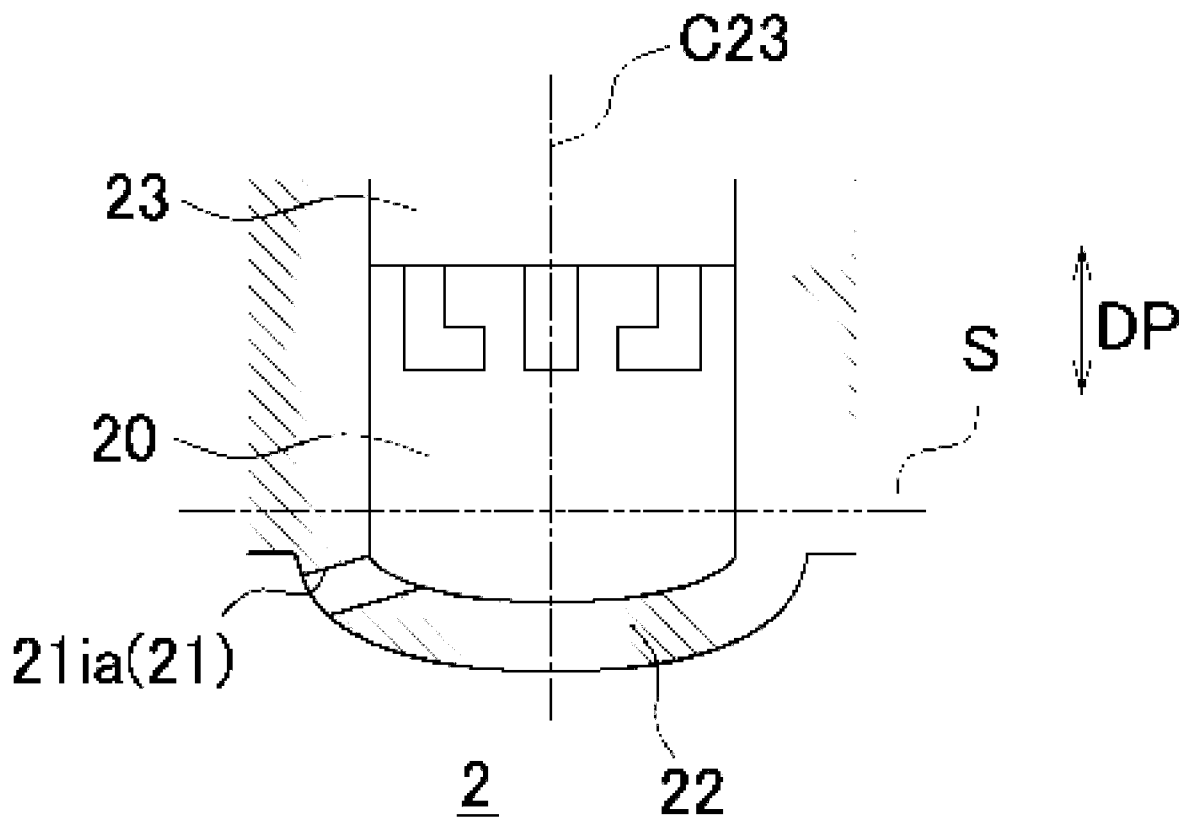


Fig. 7

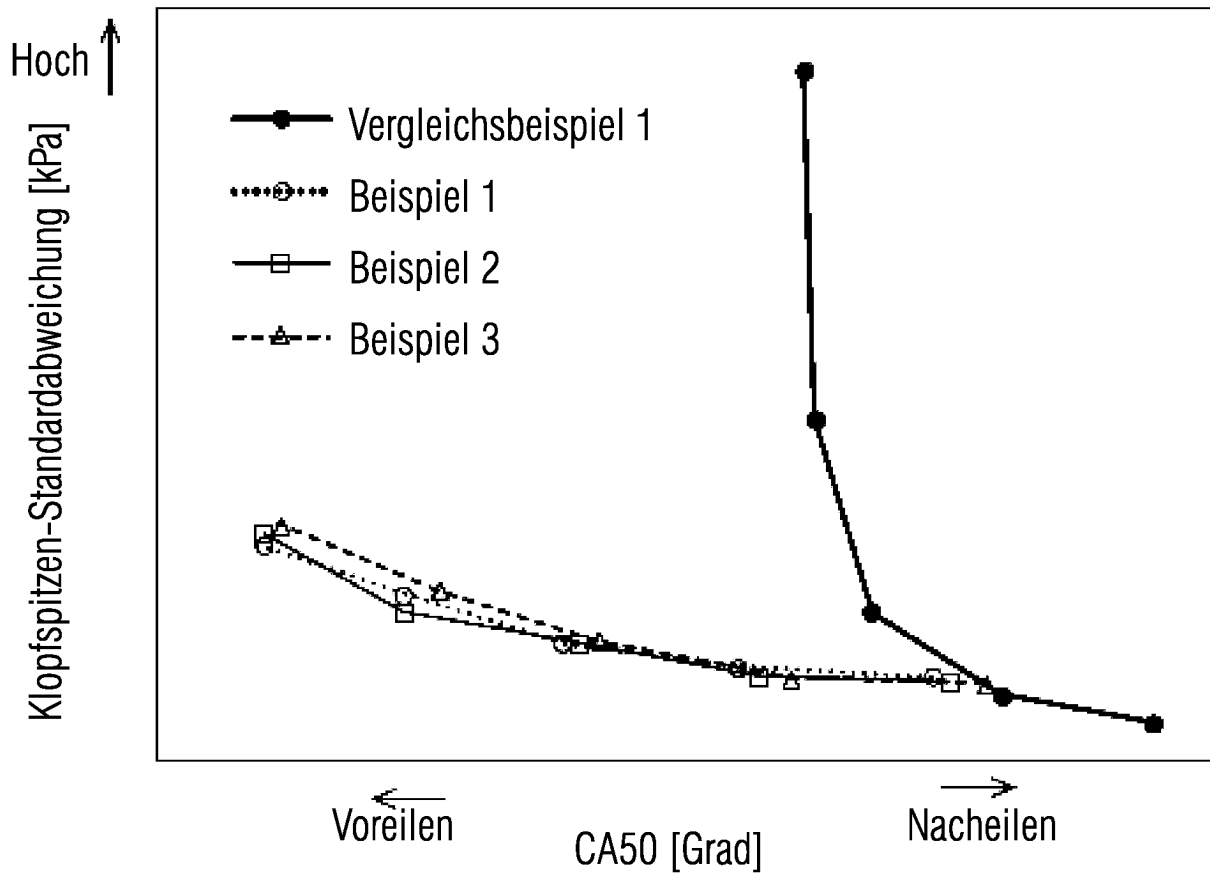
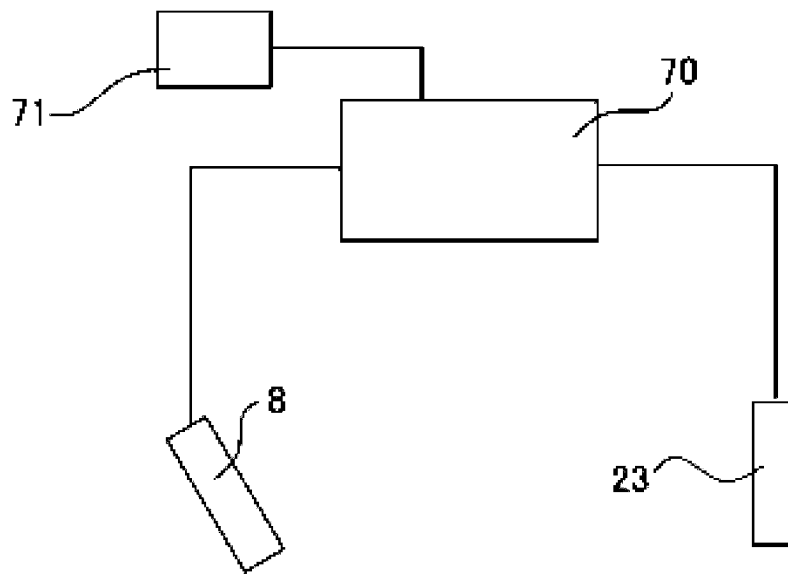


Fig. 8

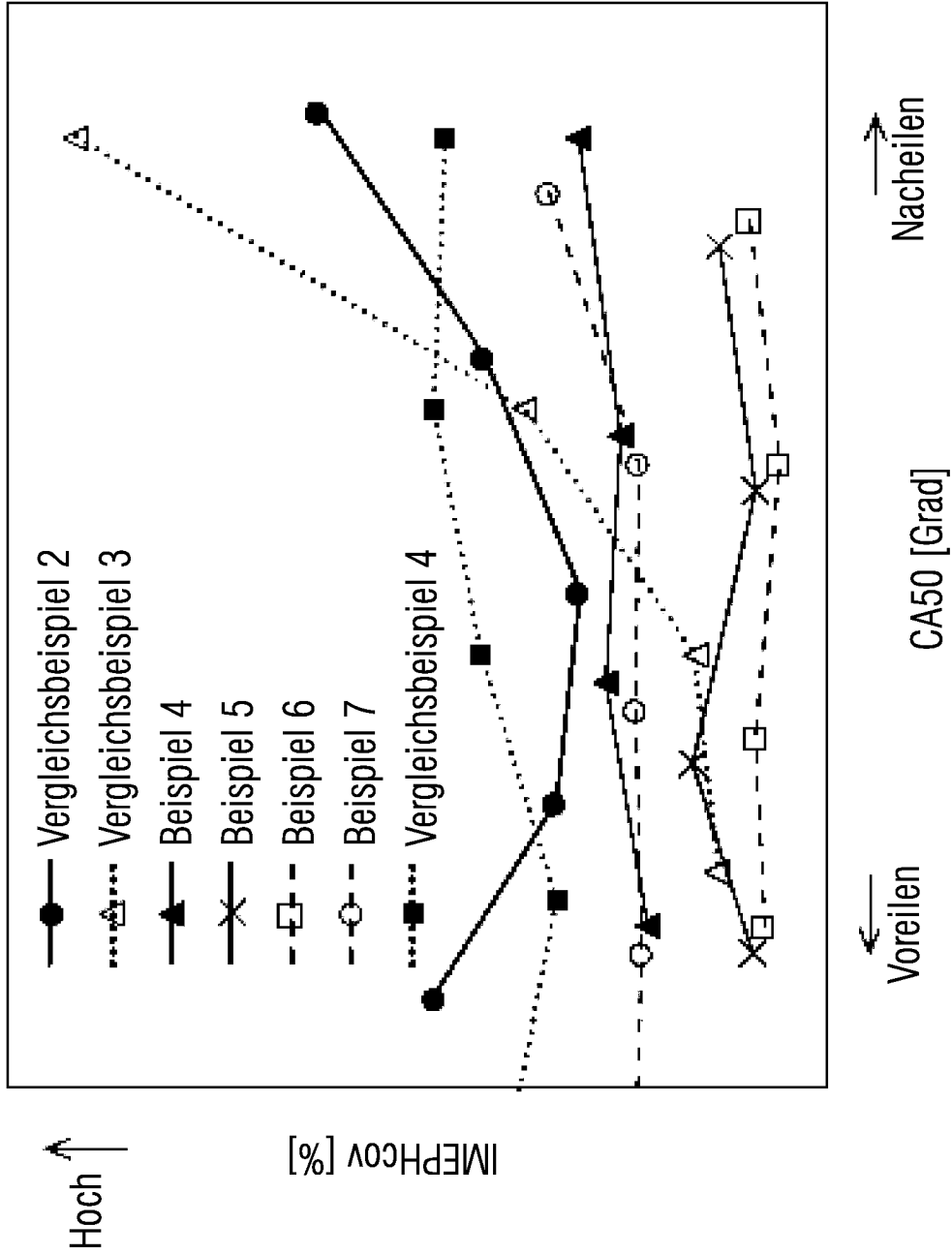


Fig. 9

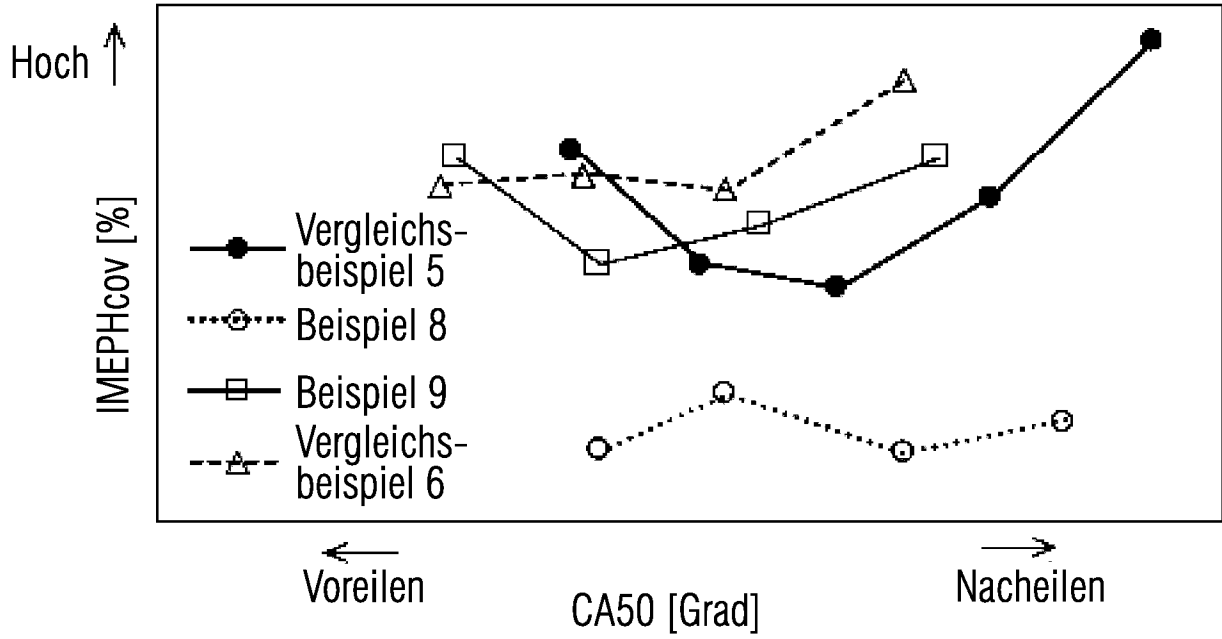


Fig. 10A

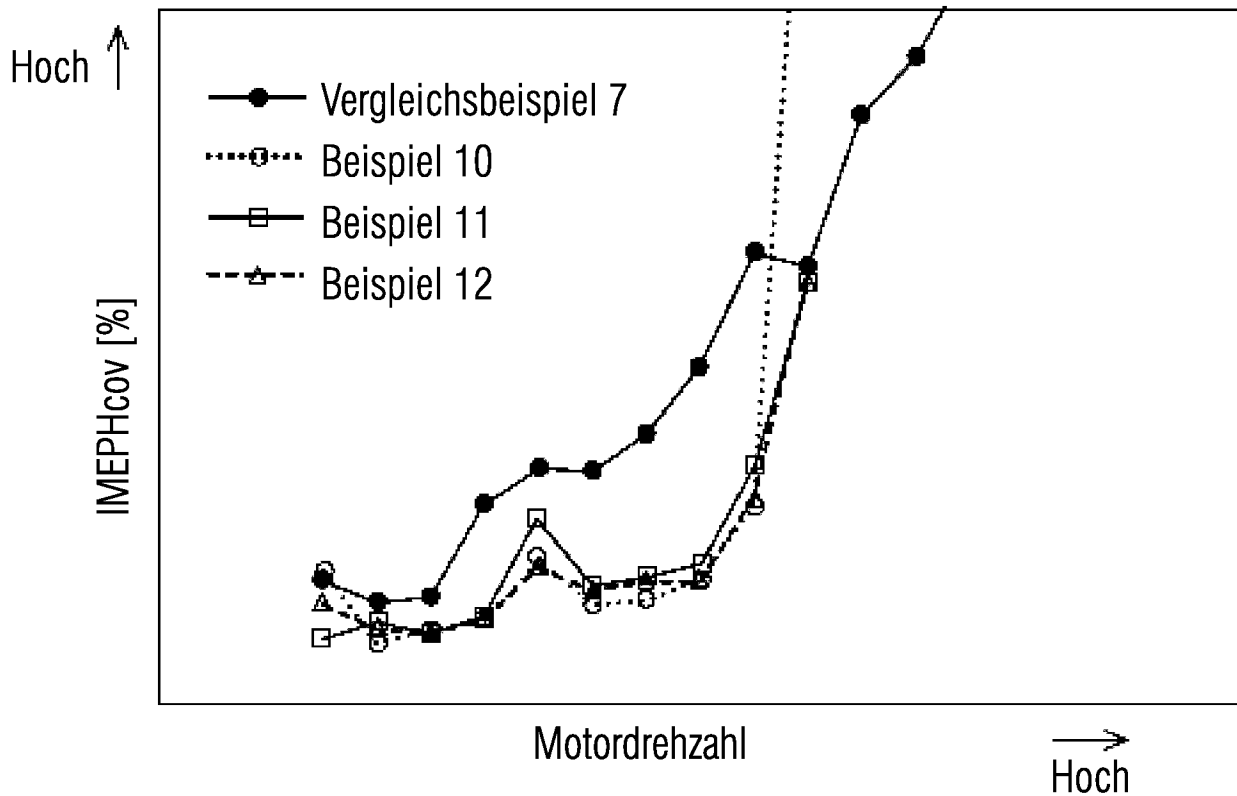


Fig. 10B

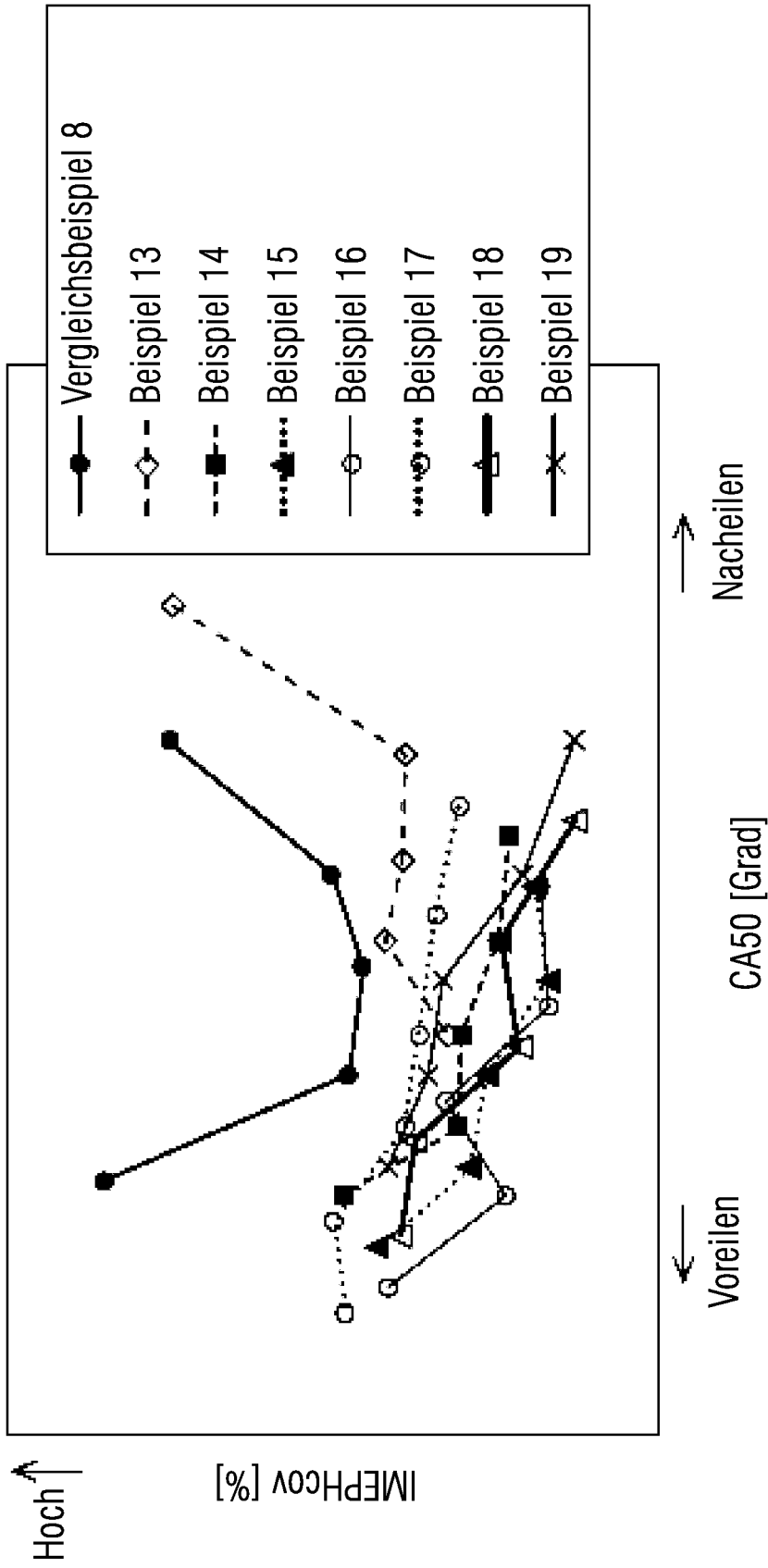


Fig. 11