



(11)

EP 3 798 414 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
31.03.2021 Patentblatt 2021/13

(51) Int Cl.:
F01C 1/46 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20020372.7**

(22) Anmeldetag: **14.08.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder:
• **Wenzel, Bernd**
63741 Aschaffenburg (DE)
• **Schrieder, Werner**
63741 Aschaffenburg (DE)

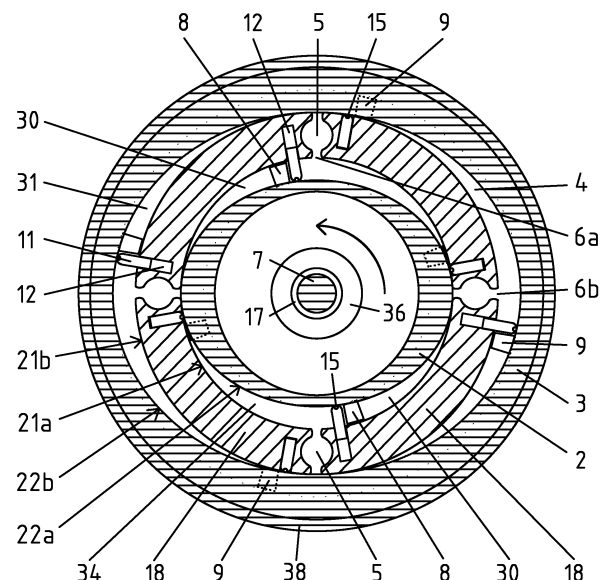
(72) Erfinder:
• **Wenzel, Bernd**
63741 Aschaffenburg (DE)
• **Schrieder, Werner**
63741 Aschaffenburg (DE)

(30) Priorität: **25.09.2019 EP 19020484**

(54) **MOTOREINHEIT FÜR VIERTAKT-VERBRENNUNGSMASCHINE MIT FESTSTEHENDEN BRENNKAMMERN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium. Ein Transportkolben (2) und ein Arbeitskolben (3) sind untereinander fest verbunden und relativ zu einem feststehenden Mittelteil (1) um eine gemeinsame Drehachse (7) drehbar gelagert. Das feststehende Mittelteil (1) umfasst ein Brennkammergehäuse (18), das zwischen dem Transportkolben (2) und dem Arbeitskolben (3) angeordnet ist und eine erste Arbeitsfläche (21a) für den Transportkolben (2) und eine zweite Arbeitsfläche (21b) für den Arbeitskolben (3) aufweist. Aufgrund einer Form des Transportkolbens (2) ist mindestens ein erstes Arbeitsvolumen (30, 34) zwischen dem Transportkolben (2) und der ersten Arbeitsfläche (21a) ausgebildet und aufgrund einer Form des Arbeitskolbens (3) ist zwischen dem Arbeitskolben (3) und der zweiten Arbeitsfläche (21b) mindestens ein zweites Arbeitsvolumen (4, 31) ausgebildet. Das Brennkammergehäuse (18) weist mindestens eine Brennkammer (5) mit einer ersten Brennkammeröffnung (6a), die sich an der ersten Arbeitsfläche (21a) öffnet, und einer zweiten Brennkammeröffnung (6b), die sich an der zweiten Arbeitsfläche (21b) öffnet, auf. Die Maschine ist einfach aufgebaut, benötigt keine Ventile und weist kompakte Brennkammern auf, deren Form für effiziente Verbrennungsprozesse optimiert werden kann.

Fig. 9



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium, umfassend einen feststehenden Mittelteil, einen Transportkolben und einen Arbeitskolben, wobei der Transportkolben und der Arbeitskolben jeweils relativ zu dem feststehenden Mittelteil um eine gemeinsame Drehachse drehbar gelagert sind. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Motoreinheit.

[0002] Die Offenlegungsschrift EP 0 085 427 A1 offenbart einen Viertaktverbrennungsmotor mit zwei Rotationskolben. Ein Exzenterkolben ist exzentrisch mit einer Motorwelle verbunden und in einem ersten Kolbenraum drehbar um eine Achse der Motorwelle drehbar gelagert. Ein Arbeitskolben ist dagegen zentrisch mit der Motorwelle verbunden und in einem zweiten Kolbenraum um die Achse der Motorwelle drehbar gelagert. Eine in dem zweiten Kolbenraum angeordnete, radial äußere Umlaufbahn für den Arbeitskolben weist einen Ausschnitt für eine Brennkammer auf. Infolge einer durch eine Zündung in der Brennkammer eingeleiteten Verbrennung und einer anschließenden Expansion eines Gemischs wird eine Ventilklappe eines Schwenkventils von ihrem Ventil Sitz am Rande einer Öffnung der Brennkammer gegenüber dem zweiten Kolbenraum in den zweiten Kolbenraum hinein ausgeschwenkt. Die Konstruktion ist allerdings vergleichsweise kompliziert und die Ventilkappe muss sich im Betrieb sehr schnell bewegen. Sie grenzt außerdem direkt an die Brennkammer und ist folglich auch einer sehr hohen thermischen Belastung ausgesetzt. Die Brennkammer ist für eine möglichst vollständige Verbrennung ungünstig geformt.

[0003] WO 2006/073262 A1 beschreibt einen weiteren Rotationsmotor. Eine sich radial nach außen erstreckende Dichtnase eines drehenden Rotors und ein Ventilelement unterteilen einen Innenraum eines Zylinders in einen Ansaugraum und einen Ausstoßraum. Der Rotationsmotor umfasst ferner eine Ansaugöffnung zum Ansaugen eines Kraftstoff-Luft-Gemisches in den Ansaugraum, eine Zündkerze zum Zünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches in dem Ansaugraum und eine im Ausstoßraum ausgebildete Ausstoßöffnung.

[0004] Ein weiterer Rotations-Verbrennungsmotor ist in GB 2 452 572 A1 gezeigt. Die Anordnung umfasst ein Gehäuse mit einer darin gebildeten Kammer, einen Doppelnocken in der Mitte der Kammer sowie einen Rotor. Der Rotor ist in der Kammer gelagert, umgibt den Doppelnocken und ist um den Doppelnocken herum drehbar. In einem Querschnitt quer zu einer Drehrichtung folgt eine Form des Doppelnockens einer Form einer Innenwand der Kammer, um einen konstanten Abstand zwischen dem Doppelnocken und der Innenwand in einer radialen Richtung zu gewährleisten. Durch die Drehung des Rotors werden Dichtelemente, die in dem Rotor angeordnet sind, durch die Innenwand und den Doppelnocken in radialer Richtung verschoben. Die Dichtelemente

separieren in Abhängigkeit von einer Drehposition ein Einlassvolumen von einem Verdichtungs- und Verbrennungsvolumen von einem Ausstoßvolumen.

[0005] US 5,681,157 A offenbart eine Rotationsverbrennungseinheit für einen Rotationsverbrennungsmotor, die mit einer vorgeschalteten Kompressoreinheit zusammenarbeitet. Die Rotationsverbrennungseinheit umfasst einen Zylinder, in welchem ein Rotationskolben mit zwei radial nach außen ragenden Nocken drehbar gelagert ist. Zwei federbetätigte, ein- und ausfahrende Schieberelemente werden durch die Nocken ein- und ausgefahren. In Abhängigkeit von einer Drehposition des Rotationskolbens unterteilt jedes der Schieberelemente jeweils eins der zwei Volumina in dem Zylinder zwischen den zwei Nocken in ein erstes Volumen zum Einlassen des Gemischs, Zünden des Gemischs und Verbrennen und in ein zweites Volumen zum Ausstoßen der Verbrennungsprodukte. Die Kompression leistet die vorgeschaltete Kompressoreinheit.

[0006] Bekannte Rotationskolben-Motoren sind häufig kompliziert aufgebaut. Sie weisen beispielsweise häufig viele bewegte Teile und aufwendige Klappen- oder Schieberanordnungen auf. Zudem sind gerade solche empfindlichen Klappen- oder Schieberanordnungen hohen Drücken, hohen Beschleunigungen und hohen Temperaturen ausgesetzt. Das kann zu höheren Produktionskosten, höheren Kosten für geeignete Materialien, hohem Wartungsaufwand und schlechter Zuverlässigkeit führen. Zudem ist die Effizienz bekannter Rotationskolben-Motoren häufig schlecht.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine mit Rotationskolben zu schaffen, die eine höhere Effizienz ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0009] Die Motoreinheit umfasst einen feststehenden Mittelteil, einen Transportkolben und einen Arbeitskolben, wobei der Transportkolben und der Arbeitskolben untereinander fest verbunden sind und relativ zu dem feststehenden Mittelteil um eine gemeinsame Drehachse drehbar gelagert sind.

[0010] Das feststehende Mittelteil umfasst ein Brennkammergehäuse, welches zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben angeordnet ist und eine erste Arbeitsfläche für den Transportkolben und eine zweite Arbeitsfläche für den Arbeitskolben aufweist,

- wobei aufgrund einer Form des Transportkolbens mindestens ein erstes Arbeitsvolumen zwischen dem Transportkolben und der ersten Arbeitsfläche ausgebildet ist und
- wobei aufgrund einer Form des Arbeitskolbens zwischen dem Arbeitskolben und der zweiten Arbeitsfläche mindestens ein zweites Arbeitsvolumen ausgebildet ist.

[0011] Zudem weist das Brennkammergehäuse mindestens eine Brennkammer auf, wobei die mindestens eine Brennkammer eine erste Brennkammeröffnung, die sich an der ersten Arbeitsfläche öffnet, sowie eine zweite Brennkammeröffnung, welche sich an einer zweiten Arbeitsfläche öffnet, aufweist.

[0012] Die mindestens eine Brennkammer ist in das Brennergehäuse des feststehenden Mittelteils integriert. Eine Form bzw. Geometrie der Brennkammer hängt weder von einer Drehposition des Transportkolbens noch von einer Drehposition des Rotationskolbens ab. Die Geometrie der mindestens einen Brennkammer ist deshalb frei gestaltbar und optimierbar. Das ermöglicht eine besonders hohe Effizienz der Motoreinheit.

[0013] Außerdem findet die mechanisch und thermisch belastende Zündung ausschließlich in der Brennkammer und somit ausschließlich in dem feststehenden Brennkammergehäuse statt. Der Transportkolben wird durch den Zündvorgang als solchen nur minimal thermisch und mechanisch belastet, nämlich nur in einem Bereich, die zu diesem Zeitpunkt an der ersten Brennkammeröffnung anliegt. Sogar der Arbeitskolben wird durch den Zündvorgang als solchen nur minimal thermisch und mechanisch belastet, nämlich nur in einem Bereich, der zu diesem Zeitpunkt an der zweiten Einlassöffnung anliegt.

[0014] Zudem ist das Brennkammergehäuse mitsamt der mindestens einen Brennkammer unmittelbar zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben angeordnet. Das Brennkammergehäuse separiert damit unmittelbar eine Ansaug- und Verdichtungsseite der Motoreinheit (eine kalte Seite der Motoreinheit) und eine Expansions- und Ausstoßseite der Motoreinheit (eine heiße Seite der Motoreinheit). Dadurch können die Geometrie und/oder die Materialien der Motoreinheit auf der kalten Seite und der heißen Seite jeweils unabhängig voneinander gewählt werden. Das erlaubt eine weitere Effizienzsteigerung der Motoreinheit und eine günstigere Produktion derselben.

[0015] In einer Weiterbildung werden auf der kalten Seite leichtere Materialien (mit geringerer Dichte), weniger temperaturbeständige Materialien und/oder geringere Materialstärken eingesetzt. Das spart Kosten. Alternativ oder zusätzlich wird dadurch außerdem die Effizienz gesteigert. Es ist beispielsweise denkbar, dass auf der kalten Seite aufgrund der geringeren mechanischen und thermischen Belastungen Material bzw. Materialien mit besseren Gleiteigenschaften verwendet werden als auf der heißen Seite. Insbesondere kann der Transportkolben ein leichteres Material, ein weniger temperaturbeständiges Material und/oder eine geringere Materialstärke aufweisen als der Arbeitskolben. Alternativ oder zusätzlich kann der Transportkolben eine Gleitbeschichtung aufweisen.

[0016] Der Transportkolben und der Arbeitskolben sind jeweils Rotationskolben.

[0017] Der Transportkolben dient zum Ansaugen und Verdichten des Arbeitsmediums. Insbesondere dient das

erste Arbeitsvolumen zum Ansaugen und Verdichten des Arbeitsmediums.

[0018] Der Arbeitskolben dient zum Expandieren und Ausstoßen von Verbrennungsprodukten des Arbeitsmediums. Insbesondere dient das zweite Arbeitsvolumen zum Expandieren und Ausstoßen der Verbrennungsprodukte.

[0019] Da das Brennkammergehäuse zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben angeordnet ist, sind die zweite Arbeitsfläche und die erste Arbeitsfläche auf einander abgewandten Seiten des Brennkammergehäuses ausgebildet. Beispielsweise kann der die erste Arbeitsfläche auf einer Innenfläche des Brennkammergehäuses in eine Radialrichtung, die senkrecht zu der Drehachse ist, angeordnet sein. Die zweite Arbeitsfläche ist dann auf einer Außenfläche des Brennkammergehäuses angeordnet. Auch der umgekehrte Fall ist möglich.

[0020] Bei einer solchen "radialen Ausführung" der Motoreinheit ist es allerdings von besonderem Vorteil, wenn die zweite Arbeitsfläche auf der Außenfläche angeordnet ist. Aufgrund des größeren Umfangs der zweiten Arbeitsfläche kann die heiße Seite, insbesondere die heißere zweite Arbeitsfläche besser gekühlt werden. Das erhöht die Zuverlässigkeit. Zudem vereinfacht es diese Anordnung, ein großes maximales Expansionsvolumen zu schaffen. Das schafft eine hohe thermodynamische Effizienz.

[0021] Insbesondere kann das Brennkammergehäuse besonders bevorzugt eine zumindest im Wesentlichen hohlzylindrische Grundform aufweisen, wobei die erste Arbeitsfläche auf einer radial inneren Zylindermantelfläche angeordnet ist und die zweite Arbeitsfläche auf einer radial äußeren Zylindermantelfläche angeordnet ist. Diese Variante ist einfach und kostengünstig herstellbar. Auch die umgekehrte Anordnung ist möglich.

[0022] In einer anderen Ausführung kann die erste Arbeitsfläche auf einer Stirnfläche des Brennkammergehäuses in einer Längsrichtung, die parallel zur Drehachse verläuft, angeordnet sein, beispielsweise auf einer oberen Stirnfläche. Die zweite Arbeitsfläche ist dann auf einer entgegengesetzten Stirnfläche des Brennkammergehäuses in der Längsrichtung angeordnet, beispielsweise auf einer unteren Stirnfläche. Eine solche Ausführung wird auch als "axiale Ausführung" bezeichnet. Bei dieser Ausführung können der Transportkolben und der Arbeitskolben ähnlich oder gar identisch geformt sein. Die Motoreinheit ist bei dieser Variante einfacher zu warten, da sowohl der Transportkolben als auch der Arbeitskolben bezogen auf das Brennkammergehäuse jeweils außen liegen.

[0023] Eine Zündung des Arbeitsmediums erfolgt in der mindestens einen Brennkammer. Bevorzugt umfasst die Motoreinheit eine Zündeinrichtung zur Zündung des Arbeitsmediums in der mindestens einen Brennkammer. Alternativ oder zusätzlich kann die Zündung in der Brennkammer durch Selbstzündung erfolgen.

[0024] In einer Weiterbildung der Erfindung weist die mindestens eine Brennkammer eine ellipsoide, kugelför-

mige oder zylindrische Grundform auf. Spitzwinklige oder stumpfwinklige Formen sind auch möglich, weisen jedoch schlechtere Verbrennungseigenschaften auf. Durch die gezielte Gestaltung der Geometrie der Brennkammer werden das Zündverhalten und das Abbrennverhalten des Arbeitsmediums und damit letztlich die Leistung und Effizienz der Motoreinheit optimiert.

[0025] In einer bevorzugten Ausbildungsform sind der Transportkolben und der Arbeitskolben drehfest verbunden. Das erlaubt eine konstruktiv besonders einfache und zuverlässige Konstruktion. Insbesondere können der Transportkolben und der Arbeitskolben starr drehfest verbunden sein.

[0026] In einer Weiterbildung weist die Motoreinheit eine Kolbenverstellung zur gezielten Verstellung einer relativen Verdrehung (ein Winkelversatz) zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben auf. Beispielsweise kann die Kolbenverstellung dazu eingerichtet sein, den Winkelversatz in einem Winkelbereich von -10° bis 10° zu verstellen.

[0027] Eine Drehrichtung des Transportkolbens entspricht einer Drehrichtung des Arbeitskolbens. Insofern genügt es im Allgemeinen, den Begriff Drehrichtung zu verwenden.

[0028] Bevorzugt liegt eine Kolbenfläche des Transportkolbens (eine erste Kolbenfläche) bereichsweise an der ersten Arbeitsfläche dichtend an und ist bereichsweise von der ersten Arbeitsfläche entfernt, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen auszubilden.

[0029] Das sorgt für eine sichere und direkte Führung des Transportkolbens an der ersten Arbeitsfläche und zugleich für eine konstruktiv einfache und zuverlässige Ausbildung des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens.

[0030] Anders ausgedrückt umfasst die erste Kolbenfläche mindestens einen Gleitbereich des Transportkolbens, der dazu eingerichtet ist, in der Drehrichtung des Transportkolbens (dichtend) entlang der ersten Arbeitsfläche entlangzugleiten. Der mindestens eine Gleitbereich des Transportkolbens dient als Dichtfläche zur Abdichtung des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens entlang der Drehrichtung des Transportkolbens.

[0031] Entsprechend umfasst die erste Kolbenfläche mindestens einen Arbeitsvolumen-Bereich, in welchem die erste Kolbenfläche von der ersten Arbeitsfläche entfernt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen auszubilden.

[0032] Besonders bevorzugt verschließt die erste Kolbenfläche (insbesondere der mindestens eine Gleitbereich des Transportkolbens) die erste Brennkammeröffnung, wenn die erste Kolbenfläche in Abhängigkeit von einer Drehposition des Transportkolbens (insbesondere der mindestens eine Gleitbereich des Transportkolbens) an einem Bereich der ersten Arbeitsfläche mit der ersten Brennkammeröffnung dichtend anliegt. Insbesondere kann die erste Kolbenfläche die erste Brennkammeröffnung dann unmittelbar verschließen.

[0033] Das mindestens eine erste Arbeitsvolumen wird

bei Drehung des Transportkolbens an der ersten Arbeitsfläche entlang bewegt. Das erste Arbeitsvolumen kann abhängig von der Drehposition des Transportkolbens (und damit abhängig von einer Position des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens relativ zu der ersten Arbeitsfläche) in ein Ansaugvolumen und ein Verdichtungs-volumen unterteilt sein. So wird das Arbeitsmedium auf der kalten Seite bewegt.

[0034] Besonders bevorzugt entspricht eine Anzahl der Gleitbereiche des Transportkolbens genau einer Anzahl der ersten Arbeitsvolumina. Die Anzahl der Gleitbereiche entspricht also einer Anzahl der Arbeitsvolumen-Bereiche des Transportkolbens. Diese Anzahl kann beispielsweise eins oder mehrere betragen. "Mehrere" bedeutet im Sinne dieser Offenbarung "mindestens zwei". Wenn mehrere Arbeitsvolumina-Bereiche ausgebildet sind, sind diese in Drehrichtung des Transportkolbens jeweils durch die Gleitbereiche des Transportkolbens voneinander getrennt. So können zuverlässig und einfach mehrere erste Arbeitsvolumina ausgebildet werden, die wiederum jeweils in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Drehposition in ein Ansaugvolumen und ein Verdichtungs-volumen unterteilt werden.

[0035] Gemäß einem anderen Aspekt liegt bevorzugt eine Kolbenfläche des Arbeitskolbens bereichsweise (eine zweite Kolbenfläche) an der zweiten Arbeitsfläche dichtend an und ist bereichsweise von der zweiten Arbeitsfläche entfernt, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen auszubilden.

[0036] Das sorgt für eine sichere und direkte Führung des Arbeitskolbens an der zweiten Arbeitsfläche und zugleich für eine konstruktiv einfache und zuverlässige Ausbildung des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens.

[0037] Anders ausgedrückt umfasst die zweite Kolbenfläche mindestens einen Gleitbereich des Arbeitskolbens, der dazu eingerichtet ist, in der Drehrichtung des Arbeitskolbens (dichtend) entlang der zweiten Arbeitsfläche entlang zu gleiten. Der mindestens eine Gleitbereich des Arbeitskolbens dient als Dichtfläche zur Abdichtung des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens entlang der Drehrichtung des Arbeitskolbens.

[0038] Entsprechend umfasst die zweite Kolbenfläche mindestens einen Arbeitsvolumen-Bereich, in welchem die zweite Kolbenfläche von der zweiten Arbeitsfläche entfernt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen auszubilden.

[0039] Besonders bevorzugt verschließt die zweite Kolbenfläche (insbesondere der mindestens eine Gleitbereich des Arbeitskolbens) die zweite Brennkammeröffnung, wenn die zweite Kolbenfläche (insbesondere der mindestens eine Gleitbereich des Arbeitskolbens) in Abhängigkeit von einer Drehposition des Arbeitskolbens an einem Bereich der zweiten Arbeitsfläche mit dieser zweiten Brennkammeröffnung dichtend anliegt. Insbesondere kann die zweite Kolbenfläche die zweite Brennkammeröffnung dann unmittelbar verschließen.

[0040] Das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen

wird bei Drehung des Arbeitskolbens an der zweiten Arbeitsfläche entlang bewegt. Das zweite Arbeitsvolumen kann abhängig von der Drehposition des Arbeitskolbens (und damit abhängig von einer Position des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens relativ zu der zweiten Arbeitsfläche) in ein Expansionsvolumen und ein Ausstoßvolumen unterteilt sein. So werden die Verbrennungsprodukte auf der heißen Seite geführt.

[0041] Besonders bevorzugt entspricht eine Anzahl der Gleitbereiche des Arbeitskolbens genau einer Anzahl der zweiten Arbeitsvolumina. Die Anzahl der Gleitbereiche entspricht also einer Anzahl der Arbeitsvolumen-Bereiche des Arbeitskolbens. Diese Anzahl kann beispielsweise eins oder mehrere betragen. Wenn mehrere Arbeitsvolumina-Bereiche ausgebildet sind, sind diese in Drehrichtung des Arbeitskolbens jeweils durch die Gleitbereiche des Arbeitskolbens voneinander getrennt. So können zuverlässig und einfach mehrere zweite Arbeitsvolumina ausgebildet werden, die wiederum jeweils in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Drehposition in ein Expansionsvolumen und ein Ausstoßvolumen unterteilt werden.

[0042] Die erste Brennkammeröffnung der mindestens einen Brennkammer, die mindestens eine Brennkammer und die zweite Brennkammeröffnung der mindestens einen Brennkammer stellen eine Fluidverbindung zwischen der ersten Arbeitsfläche und der zweiten Arbeitsfläche her.

[0043] In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die erste Kolbenfläche die erste Brennkammeröffnung zu einem Zeitpunkt der maximalen Verdichtung des Arbeitsmediums und/oder eines Zündzeitpunkts für die mindestens eine Brennkammer verschließt und dass gleichzeitig die zweite Kolbenfläche die zweite Brennkammeröffnung verschließt.

[0044] Dadurch findet die eigentliche Zündung in der vollständig geschlossenen mindestens einen Brennkammer statt. Das erhöht die Sicherheit und Zuverlässigkeit. Wenn eine mindestens eine Absperreinrichtung als Klappe oder Schieber ausgebildet ist, wie weiter unten beschrieben wird, dann ist die mindestens eine Absperrvorrichtung zu diesem Zeitpunkt keiner mechanischen Belastung durch die Verbrennung ausgesetzt. Ferner ist so das Volumen des Arbeitsmediums für den jeweiligen Zündvorgang minimal.

[0045] Alternativ erfolgt die Zündung bevorzugt zu einem verspäteten Zündzeitpunkt, unmittelbar an dem sich an der zweiten Brennkammeröffnung ein neues Expansionsvolumen zu öffnen begonnen hat. Bevorzugt ist der verspätete Zündzeitpunkt zwischen dem Zeitpunkt der maximalen Verdichtung des Arbeitsmediums und einem spätestmöglichen Zündzeitpunkt, an welchem das genannte Expansionsvolumen besonders bevorzugt 10 % seines späteren, maximalen Volumens erreicht hat, überaus bevorzugt 5 %. Der Transportkolben verschließt zum spätestmöglichen Zündzeitpunkt die erste Brennkammeröffnung.

[0046] Gemäß einer weiteren Alternative erfolgt die

Zündung bevorzugt zu einem vorseilenden Zündzeitpunkt, unmittelbar bevor an der ersten Brennkammeröffnung das Verdichtungs-volumen vollständig kollabiert ist. Bevorzugt ist der vorseilende Zündzeitpunkt zwischen dem Zeitpunkt der maximalen Verdichtung des Arbeitsmediums und einem frühestmöglichen Zündzeitpunkt, an welchem das gerade genannte Verdichtungs-volumen besonders bevorzugt auf 10 % seines früheren, maximalen Volumens verkleinert ist, überaus bevorzugt auf 5 %. Der Arbeitskolben verschließt zum frühestmöglichen Zündzeitpunkt die zweite Brennkammeröffnung.

[0047] Insbesondere kann die Motoreinheit eine Zündverstellung aufweisen, welche den Zündzeitpunkt zwischen dem frühestmöglichen Zündzeitpunkt und dem spätestmöglichen Zündzeitpunkt zumindest in Abhängigkeit von einer Drehzahl und/oder Zufuhrmenge des Arbeitsmediums pro Zeiteinheit automatisch anpasst. Das verbessert die Effizienz, die Leistung und das Drehmoment in schwierigen Betriebszuständen.

[0048] Bevorzugt ist in dem feststehenden Mittelteil für jede der mindestens einen Brennkammer eine Einlassöffnung zum Ansaugen des Arbeitsmediums ausgebildet, welche bei Drehung des Transportkolbens von dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen überstrichen wird. Es ist also mindestens eine Einlassöffnung vorhanden. Wenn mehrere Brennkammern vorhanden sind, ist für jede der mehreren Brennkammern jeweils eine Einlassöffnung vorhanden, besonders bevorzugt jeweils genau eine Einlassöffnung.

[0049] Die mindestens eine Einlassöffnung dient zum Ansaugen bzw. Einlassen des Arbeitsmediums in das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (bzw. genauer gesagt dessen Ansaugvolumen).

[0050] Besonders bevorzugt ist die mindestens eine Einlassöffnung in der ersten Arbeitsfläche oder in einer seitlichen Dichtfläche des feststehenden Mittelteils für den Transportkolben ausgebildet. Letztere ist eine Fläche, welche an die erste Arbeitsfläche angrenzt und an welcher der Transportkolben dichtend entlang gleitet. Die seitliche Dichtfläche des feststehenden Mittelteils für den Transportkolben kann in einer Schnittebene senkrecht zu der Drehrichtung gesehen lokal senkrecht zu der ersten Arbeitsfläche ausgebildet sein. Sie kann sich entlang der Drehrichtung zylindermantelförmig (axiale Ausführung) oder kreisringförmig (radiale Ausführung) um die Drehachse herum erstrecken.

[0051] In einer besonders bevorzugten Weiterbildung ist für jede der mindestens einen Brennkammer eine vollständig versenk-bare Absperreinrichtung in der ersten Arbeitsfläche angeordnet, welche entlang der Drehrichtung des Transportkolbens gesehen hinter der ersten Brennkammeröffnung dieser Brennkammer und vor der nächsten Einlassöffnung positioniert ist und welche in Abhängigkeit von der Drehposition des Transportkolbens in dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen ein Verdichtungs-volumen begrenzt. In einer Weiterbildung unterteilt sie in Abhängigkeit von der Drehposition des Transportkolbens das mindestens eine Arbeitsvolumen

in das Ansaugvolumen und das Verdichtungsvolumen unterteilen.

[0052] Die Absperrvorrichtung teilt in dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen in Abhängigkeit von der Drehposition des Transportkolbens das Verdichtungs-
volumen ab. Ein Vorhandensein und ein Volumen dieses Verdichtungs-
volumens sind drehwinkelabhängig. Das Verdichtungs-
volumen verkleinert sich, während es die erste Brennkammeröffnung überstreicht. Dadurch wird das Arbeitsmedium aus dem Verdichtungs-
volumen durch die erste Brennkammeröffnung in die zugehörige Brennkammer gedrückt und verdichtet. In einer Weiter-
bildung ist das Verdichtungs-
volumen genau dann voll-
ständig kollabiert, wenn das zugehörige erste Arbeits-
volumen komplett die erste Brennkammeröffnung überstri-
chen hat. Vollständig bedeutet in diesem speziellen Kon-
text, dass ein Volumen des Verdichtungs-
volumens zu diesem Zeitpunkt noch maximal 10 %, noch bevorzugter
noch maximal 5 % eines Maximalvolumens des Verdich-
tungsvolumens beträgt.

[0053] Die genannte Absperrvorrichtung verhindert, dass das Arbeitsmedium in dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen (bzw. insbesondere in dem darin ausge-
bildeten Verdichtungs-
volumen) an der ersten Brennkam-
meröffnung vorbeitransportiert wird.

[0054] Überaus bevorzugt ist diese Absperreinrich-
tung entlang der Drehrichtung des Transportkolbens ge-
sehen unmittelbar hinter der ersten Brennkammeröff-
nung dieser Brennkammer und/oder unmittelbar vor der
nächsten Einlassöffnung positioniert. Unmittelbar be-
deutet in diesem konkreten Zusammenhang, dass ein
jeweiliger Winkelversatz beider Elemente um die Dreh-
achse maximal 30° beträgt, außerordentlich bevorzugt
maximal 15°. Mit dieser Anordnung werden das maxima-
le Ansaugvolumen (und somit das maximale Verdich-
tungsvolumen) und folglich die erzielte Verdichtung be-
sonders hoch. Das stellt eine hohe Leistung der Motor-
einheit sicher.

[0055] Es ist also mindestens eine Absperrvorrichtung in der ersten Arbeitsfläche angeordnet.

[0056] Indem die Absperreinrichtung in der ersten Ar-
beitsfläche angeordnet ist, werden die darauf wirkenden
Kräfte sicher auf das Brennkammergehäuse und somit
auf das feststehende Mittelteil übertragen. Wenn diese
Absperrvorrichtung vollständig versenkt ist, ragt kein Teil
der Absperreinrichtung aus der ersten Arbeitsfläche in
Richtung des Transportkolbens hinaus. Die mindestens
eine Gleitfläche des Transportkolbens kann die vollstän-
dig versenkte Absperrvorrichtung deshalb vollkommen
ungehindert überstreichen. Zu dieser Zeit kann die Ab-
sperrvorrichtung das mindestens eine erste Arbeits-
volumen natürlich nicht unterteilen. Wenn danach das min-
destens eine erste Arbeitsvolumen die Absperreinrich-
tung überstreicht, fährt die Absperreinrichtung in das
mindestens einer erste Arbeitsvolumen aus, um es in
das Ansaugvolumen und das Verdichtungs-
volumen zu unterteilen.

[0057] Wenn genau eine Brennkammer, genau eine

erste Brennkammeröffnung und genau eine Einlassöff-
nung für diese Brennkammer ausgebildet sind, dann ist
diese Einlassöffnung selbstverständlich zugleich die (in
der Drehrichtung des Transportkolbens gesehen) nächs-
te Einlassöffnung in dem obigen Sinne. Wenn beispiele-
weise mehrere Brennkammern mit jeweils einer Brenn-
kammeröffnung und jeweils eine Einlassöffnung für jede
der Brennkammern ausgebildet sind, dann ist die (in der
Drehrichtung des Transportkolbens gesehen) nächste
Einlassöffnung diejenige der Einlassöffnungen, welche
zum Ansaugen des Arbeitsmediums für die (in der Dreh-
richtung des Transportkolbens gesehen) nächste Brenn-
kammer dient.

[0058] Bevorzugt ist in dem feststehenden Mittelteil für
jede der mindestens einen Brennkammer eine Auslass-
öffnung zum Ausstoßen von Verbrennungsprodukten
des Arbeitsmediums ausgebildet, welche bei Drehung
des Arbeitskolbens von dem mindestens einen zweiten
Arbeitsvolumen überstrichen wird. Es ist also minde-
stens eine Auslassöffnung vorhanden. Wenn mehrere
Brennkammern vorhanden sind, ist für jede der mehreren
Brennkammern jeweils eine Auslassöffnung vorhanden,
besonders bevorzugt jeweils genau eine Auslassöff-
nung.

[0059] Die mindestens eine Auslassöffnung dient zum
Auslassen bzw. Ausstoßen der Verbrennungsprodukte
aus dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen
(bzw. genauer gesagt dessen Ausstoßvolumen).

[0060] Besonders bevorzugt ist die mindestens eine
Auslassöffnung in der zweiten Arbeitsfläche oder in einer
seitlichen Dichtfläche des feststehenden Mittelteils für
den Arbeitskolben ausgebildet. Letztere ist eine Fläche,
welche an die zweite Arbeitsfläche angrenzt und an wel-
cher der Arbeitskolben dichtend entlang gleitet. Die seit-
liche Dichtfläche des feststehenden Mittelteils für den Ar-
beitskolben kann in einer Schnittebene senkrecht zu der
Drehrichtung gesehen lokal senkrecht zu der zweiten Ar-
beitsfläche ausgebildet sein. Sie kann sich entlang der
Drehrichtung zylindermantelförmig (axiale Ausführung)
oder kreisringförmig (radiale Ausführung) um die Dreh-
achse herum erstrecken.

[0061] In einer besonders bevorzugten Weiterbildung
ist für jede der mindestens einen Brennkammer eine voll-
ständig versenk-
bare Absperreinrichtung in der zweiten
Arbeitsfläche angeordnet, welche entlang einer Dreh-
richtung des Arbeitskolbens gesehen vor der zweiten
Brennkammeröffnung dieser Brennkammer und hinter
der vorherigen Auslassöffnung positioniert ist und wel-
che abhängig von der Drehposition des Arbeitskolbens
in dem mindestens einen zweite Arbeitsvolumen ein Ex-
pansionsvolumen begrenzt. In einer Weiterbildung un-
terteilt sie abhängig von der Drehposition des Arbeits-
kolbens das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen in das
Expansionsvolumen und das Ausstoßvolumen.

[0062] Die Absperrvorrichtung teilt in dem mindestens
einen zweiten Arbeitsvolumen in Abhängigkeit von der
Drehposition des Arbeitskolbens das Expansions-
volumen ab. Ein Vorhandensein und ein Volumen dieses Ex-

pansionsvolumens sind drehwinkelabhängig. Das Expansionsvolumen vergrößert sich, während es die zweite Brennkammeröffnung überstreicht. Dadurch können die Verbrennungsprodukte aus der Brennkammer durch die zweite Brennkammeröffnung in das Expansionsvolumen expandieren und in dem Expansionsvolumen weiter expandieren. In einer Weiterbildung wird das Expansionsvolumen dann neu abgeteilt bzw. neu ausgebildet, kurz bevor das zugehörige mindestens eine zweite Arbeitsvolumen beginnt, die zweite Brennkammeröffnung zu überstreichen. "Kurz bevor" bedeutet in diesem speziellen Kontext, dass ein Volumen des Expansionsvolumens erst maximal 10 %, noch bevorzugter maximal 5 % seines Maximalvolumens erreicht hat, bevor das zugehörige mindestens eine zweite Arbeitsvolumen beginnt, die zweite Brennkammeröffnung zu überstreichen.

[0063] Die genannte Absperrvorrichtung verhindert, dass die Verbrennungsprodukte aus der zweiten Brennkammeröffnung in einen Teil des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens auszuströmen (es kann sich insbesondere um eines der Ausstoßvolumina handeln), der in der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen noch vor der zweiten Brennkammeröffnung gelegen ist.

[0064] Überaus bevorzugt ist diese Absperrereinrichtung entlang der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen unmittelbar vor der zweiten Brennkammeröffnung dieser Brennkammer und unmittelbar hinter der vorherigen Auslassöffnung positioniert. Unmittelbar bedeutet in diesem konkreten Zusammenhang, dass ein jeweiliger Winkelversatz beider Elemente um die Drehachse maximal 30° beträgt, außerordentlich bevorzugt maximal 15°. Mit dieser Anordnung werden das maximale Expansionsvolumen und folglich das erzielte Expansionsverhältnis besonders hoch. Das sorgt für eine hohe Leistung und eine hohe Effizienz der Motoreinheit.

[0065] Es ist also mindestens eine Absperrvorrichtung in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet.

[0066] Indem die Absperrereinrichtung in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist, werden die darauf wirkenden Kräfte sicher auf das Brennkammergehäuse und somit auf das feststehende Mittelteil übertragen. Dadurch wird auch die Drehrichtung des Arbeitskolbens vorgegeben: Während die aus der Expansion resultierenden Druckkräfte entgegen der der Drehrichtung des Arbeitskolbens von dieser Absperrereinrichtung auf das feststehende Mittelteil übertragen werden, treiben diese Druckkräfte andererseits den Arbeitskolben entlang seiner Drehrichtung voran. Das sorgt dafür, dass sich das Expansionsvolumen bei der weiteren Drehung vergrößert. Wenn diese Absperrvorrichtung vollständig versenkt ist, ragt kein Teil der Absperrereinrichtung aus der zweiten Arbeitsfläche in Richtung des Arbeitskolbens hinaus. Die mindestens eine Gleitfläche des Arbeitskolbens kann die vollständig versenkte Absperrvorrichtung deshalb leicht überstreichen. Zu dieser Zeit kann die Absperrvorrichtung das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen natürlich nicht unterteilen. Wenn danach das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen die Absperrereinrichtung über-

streicht, fährt die Absperrereinrichtung in das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen aus, um es in das Expansionsvolumen und das Ausstoßvolumen zu unterteilen.

[0067] Wenn genau eine Brennkammer, genau eine erste Brennkammeröffnung und genau eine Auslassöffnung für diese Brennkammer ausgebildet sind, dann ist diese Auslassöffnung selbstverständlich zugleich die (in der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen) vorherige Auslassöffnung in dem obigen Sinne. Wenn beispielsweise mehrere Brennkammern mit jeweils einer Brennkammeröffnung und jeweils eine Auslassöffnung für jede der Brennkammern ausgebildet sind, dann ist die (in der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen) vorherige Auslassöffnung im obigen Sinne diejenige der Auslassöffnungen, welche zum Ausstoßen der Verbrennungsprodukte aus der (in der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen) vorherigen Brennkammer dient.

[0068] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform liegt die mindestens eine erste Absperrereinrichtung, die in der ersten Arbeitsfläche angeordnet ist, jederzeit dichtend an der ersten Kolbenfläche an. Jederzeit bedeutet in diesem Zusammenhang unabhängig von der Drehposition des Transportkolbens. Alternativ oder zusätzlich liegt die mindestens eine zweite Absperrereinrichtung, die in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist, jederzeit dichtend an der zweiten Kolbenfläche an.

[0069] Gemäß einem weiteren Aspekt ist der Transportkolben besonders bevorzugt derart geformt, dass jede der mindestens einen Absperrereinrichtung, die in der ersten Arbeitsfläche angeordnet ist, bei Drehung des Transportkolbens (mit konstanter Winkelgeschwindigkeit) einer phasenweise konstanten Beschleunigung ausgesetzt ist.

[0070] Eine solche Ausgestaltung gewährleistet, dass ein Anpressdruck und damit Reibungskräfte an der mindestens einen Absperrereinrichtung und deren Verschleiß minimal sind. Ferner stellt diese Ausgestaltung sicher, dass ein Verhältnis einer maximalen Geschwindigkeit der mindestens einen Absperrereinrichtung zu der Drehzahl minimal wird. Das ermöglicht höhere Drehzahlen.

[0071] An dieser Stelle wird erinnert, dass gemäß einer Ausführung lediglich genau eine Absperrereinrichtung in der ersten Arbeitsfläche angeordnet sein kann. Das "jede" gilt dann für die genau eine Absperrereinrichtung in der ersten Arbeitsfläche.

[0072] Überaus bevorzugt sind die erste Arbeitsfläche und die erste Kolbenfläche gemäß der folgenden Weiterbildung ausgebildet:

- Ein Abstand der ersten Kolbenfläche von der ersten Arbeitsfläche wird (bei nicht drehendem Transportkolben bzw. zu einem feststehenden Zeitpunkt betrachtet) durch eine stetige, abschnittsweise definierte Funktion in Abhängigkeit von einer Winkelkoordinate um die Drehachse beschrieben, wobei ein Wert der Winkelkoordinate entgegen der Drehrichtung des Transportkolbens gesehen ansteigt.
- In dem mindestens einen Gleitbereich ist der Ab-

stand null. Anders ausgedrückt ist die erste Kolbenfläche in dem mindestens einen Gleitbereich parallel zu der ersten Arbeitsfläche. In dem mindestens einen Gleitbereich ist eine Ableitung des Abstands (nach der Winkelkoordinate) null. Entsprechend ist auch eine zweite Ableitung des Abstands (nach der Winkelkoordinate) null.

- Der mindestens eine Arbeitsvolumen-Bereich weist einen Zunahmebereich auf, in welchem der Abstand zunimmt. In dem Zunahmebereich vergrößert sich der Abstand stetig differenzierbar. Dabei nimmt die Ableitung des Abstands zunächst linear von null bis zu einem Maximalwert zu und dann linear von dem Maximalwert bis nach null ab. Das heißt, die zweite Ableitung des Abstands weist in einem Anfangsteil des Zunahmebereichs einen positiven, konstanten Wert und in einem Endbereich des Zunahmebereichs einen negativen, konstanten Wert auf. Der Betrag der zweiten Ableitung des Abstands kann in dem Zunahmebereich konstant sein, sodass sich lediglich ein Vorzeichen der zweiten Ableitung ändert. Der Vorzeichenwechsel der zweiten Ableitung (von positiv zu negativ) tritt an dem Maximalwert der ersten Ableitung auf.
- Der mindestens eine Arbeitsvolumen-Bereich weist danach einen Abnahmebereich auf, in welchem der Abstand abnimmt. In dem Abnahmebereich verkleinert sich der Abstand stetig differenzierbar. Dabei nimmt die Ableitung des Abstands zunächst linear von null bis zu einem Maximalwert ab und dann linear von dem Minimalwert bis nach null zu. Das heißt, die zweite Ableitung des Abstands weist in einem Anfangsteil des Abnahmebereichs einen negativen, konstanten Wert und in einem Endbereich des Abnahmebereichs einen positiven, konstanten Wert auf. Der Betrag der zweiten Ableitung des Abstands kann in dem Abnahmebereich konstant sein, sodass sich lediglich ein Vorzeichen der zweiten Ableitung ändert. Der Vorzeichenwechsel der zweiten Ableitung (von negativ zu positiv) tritt an dem Maximalwert der ersten Ableitung auf.
- Zwischen dem Zunahmebereich und dem Abnahmebereich kann ein Konstantbereich vorgesehen sein, in welchem der Abstand konstant ist. Anders ausgedrückt ist die erste Kolbenfläche in dem Konstantbereich parallel und gleichmäßig beabstandet zu der ersten Arbeitsfläche. In dem Konstantbereich sind die Ableitung und die zweite Ableitung null.

[0073] Der Abstand kann sich entlang der Radialrichtung oder entlang der Längsrichtung erstrecken sein.

[0074] Falls sich der Abstand in der Radialrichtung erstreckt, weist die erste Arbeitsfläche vorzugsweise eine zylindermantelförmige Form auf. Die Veränderung des Abstands in Abhängigkeit von der Winkelkoordinate wird also allein von der Form der ersten Kolbenfläche definiert. Die stetige, abschnittsweise definierte Funktion beschreibt dann die Abweichung der ersten Kolbenfläche

von einer idealen Zylindermantelform.

[0075] Falls sich der Abstand in der Längsrichtung erstreckt, weist die erste Arbeitsfläche vorzugsweise eine Kreisring-Form auf. Die Veränderung des Abstands in Abhängigkeit von der Winkelkoordinate wird also allein von der Form der ersten Kolbenfläche definiert. Die stetige, abschnittsweise definierte Funktion beschreibt dann die Abweichung der ersten Kolbenfläche von einer Stirnfläche eines idealen Hohlzylinders.

[0076] Sofern der Transportkolben mehrere Gleitbereiche und mehrere Arbeitsvolumen-Bereiche aufweist, kann sich die Funktion entsprechend wiederholen.

[0077] Wenn sich der Transportkolben mit konstanter Winkelgeschwindigkeit entlang seiner Drehrichtung dreht, beschreibt eine zu der obigen Funktion korrespondierende Funktion über die Zeit den Abstand an der Stelle der mindestens einen Absperrvorrichtung in der ersten Arbeitsfläche. Die konstante positive zweite Ableitung im zuvor beschriebenen Zusammenhang führt dann zu einer konstanten positiven Beschleunigung der Absperrvorrichtung entlang einer Richtung des Abstandes, also senkrecht zu der ersten Arbeitsfläche von der ersten Arbeitsfläche zu der ersten Kolbenfläche hin. Die oben genannten Ausgestaltungen der Funktion sind also Beispiele dafür, wie sichergestellt werden kann, dass die mindestens eine Absperrvorrichtung, die in der ersten Arbeitsfläche angeordnet ist, bei Drehung des Transportkolbens mit konstanter Winkelgeschwindigkeit einer phasenweise konstanten Beschleunigung ausgesetzt wird.

[0078] Alternativ oder zusätzlich ist der Arbeitskolben bevorzugt derart geformt, dass jede der mindestens einen Absperrvorrichtung, die in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist, bei einer Drehung des Arbeitskolbens mit konstanter Winkelgeschwindigkeit einer phasenweise konstanten Beschleunigung ausgesetzt ist. Die oben aufgeführten Anmerkungen und Vorteile gelten entsprechend. Insbesondere kann ein Abstand der zweiten Kolbenfläche von der zweiten Arbeitsfläche in gleicher Weise durch eine stetige, abschnittsweise definierte Funktion in Abhängigkeit von der Winkelkoordinate um die Drehachse charakterisiert sein.

[0079] Wenn der Zunahmebereich und/oder der Abnahmebereich für den Abstand zwischen der zweiten Arbeitsfläche und der zweiten Kolbenfläche bei gleichbleibendem zweiten Arbeitsvolumen steiler gestaltet werden (also höhere Beträge der ersten Ableitung aufweisen), dann wird dadurch ein Drehmoment der Motoreinheit verbessert. Deshalb ist es insbesondere auf der Seite des Arbeitskolbens vorteilhaft, den Konstantbereich zwischen dem Zunahmebereich und dem Abnahmebereich vorzusehen.

[0080] Besonders bevorzugt umfasst jede Absperrvorrichtung einen Schieber, eine Klappe, oder eine Tür, welche in einer zugehörigen passenden Aussparung in dem Brennkammergehäuse vollständig versenkbar ist. Je nachdem, wo die Absperrvorrichtung vorgesehen ist, ist die zugehörige Aussparung in der ersten Arbeitsfläche oder in der zweiten Arbeitsfläche des Brennkammerge-

häuses ausgebildet.

[0081] Die Klappen gewährleisten eine sicherere Führung, haben jedoch einen größeren Platzverbrauch als die Schieber. Die Türen weisen ebenfalls einen sehr geringen Platzbedarf auf.

[0082] Verschiedene Ausführungen sind in dieser Hinsicht möglich. Beispielsweise kann jede der mindestens einen Absperreinrichtung in der Arbeitsfläche einen Schieber aufweisen, während jede der mindestens einen Absperreinrichtung in der zweiten Arbeitsfläche eine Klappe aufweist. Das ist besonders bei radialen Ausführungen von Vorteil, wenn die zweite Arbeitsfläche auf der radialen Außenfläche des Brennkammergehäuses angeordnet ist. Die erste Arbeitsfläche auf der radialen Innenseite des Brennkammergehäuses bietet weniger Platz. Hier sind also die Schieber von Vorteil. Die zweite Arbeitsfläche bietet aufgrund ihres größeren Umfangs mehr Platz. Außerdem sind die mechanischen und thermischen Belastungen für die mindestens eine Absperreinrichtung in der zweiten Arbeitsfläche größer. Hier sind also Klappen besonders geeignet.

[0083] Die Ausführung der mindestens einen Absperreinrichtung als Tür bietet sich für radiale Ausführungen der Motoreinheit an. Wenn die jeweilige Tür geschlossen ist, definiert eine Innenseite dieser Tür einen Teil einer Wand der zugehörigen mindestens einen Brennkammer. Dadurch ist die Form der Brennkammer noch freier gestaltbar. Beispielsweise kann die Innenseite der Tür die Form eines Teils einer Kugel aufweisen. Insbesondere kann für jede der mindestens einen Brennkammer jeweils eine Tür für die erste Brennkammeröffnung in der ersten Arbeitsfläche ausgebildet sein und eine Tür für die zweite Brennkammeröffnung in der mindestens zweiten Arbeitsfläche ausgebildet sein. So kann die mindestens eine Brennkammer sogar im Bereich der ersten Brennkammeröffnung und der zweiten Brennkammeröffnung eine kugelförmige Wand aufweisen, wenn diese beiden Türen geschlossen sind.

[0084] Falls die Tür in der ersten Arbeitsfläche angeordnet ist, dann verschließt sie die erste Brennkammeröffnung der Brennkammer, wenn der mindestens eine Gleitbereich des Transportkolbens diese erste Brennkammeröffnung überstreicht. Eine Außenseite der Tür kann so geformt sein, dass die Außenseite in diesem Zustand die erste Arbeitsfläche im Bereich dieser ersten Brennkammeröffnung bündig und formangepasst fortsetzt. Bei dieser Ausführung verschließt also die erste Kolbenfläche die erste Brennkammeröffnung nicht unmittelbar, sondern mittelbar über die Tür. Allerdings stützt die erste Kolbenfläche (bzw. deren mindestens eine Gleitbereich) die Tür außen ab, wenn die Tür geschlossen ist. Die Tür kann die Druckkräfte in der zugehörigen Brennkammer unmittelbar und praktisch vollständig auf die erste Kolbenfläche übertragen, wenn die Tür vollständig geschlossen ist. Das sorgt für eine hohe Stabilität und eine hohe Zuverlässigkeit. Auch im funktionalen Sinne verschließt die erste Kolbenfläche die erste Brennkammeröffnung, da sie die zugehörige Tür zudrückt, also

vor der Zündung verschließt und während der Zündung geschlossen hält.

[0085] Falls die Tür in der ersten Arbeitsfläche angeordnet ist, ist sie vorzugsweise entlang der Drehrichtung des Transportkolbens unmittelbar hinter der zugehörigen ersten Brennkammeröffnung an dem Brennkammergehäuse auf der Seite der ersten Arbeitsfläche drehbar angelenkt. Die Tür ist um eine Tür-Schwenkachse, die parallel zu der Drehachse (des Transportkolbens) ist, verschwenkbar, um die zugehörige erste Brennkammeröffnung zu öffnen oder verschließen. Wenn das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (bzw. der mindestens eine Arbeitsvolumen-Bereich des Transportkolbens) die zugehörige erste Brennkammeröffnung überstreicht, öffnet sich die Tür. Dadurch dichtet sie in diesem ersten Arbeitsvolumen das Verdichtungs-volumen ab. Zugleich kann durch die geöffnete Tür das verdichtete Arbeitsmedium aus dem Verdichtungs-volumen in die Brennkammer einströmen.

[0086] Eine Länge der Tür senkrecht zu der Tür-Schwenkachse ist in diesem Fall vorzugsweise größer als der maximale Abstand zwischen der ersten Arbeitsfläche und der ersten Kolbenfläche. Selbst wenn die Tür maximal geöffnet ist, drückt ein Druck des Arbeitsmediums in dem Verdichtungs-volumen die Tür stärker auf die erste Kolbenfläche. Der Druck des Arbeitsmediums in dem Verdichtungs-volumen trägt zu einer verbesserten Abdichtung des Verdichtungs-volumens an der Tür bei.

[0087] Die Ausführung der Absperreinrichtung als Tür hat also den Vorteil, dass kein elastisches Element (wie beispielsweise eine Feder) oder zumindest kein starkes elastisches Element für diese Abdichtung sorgen muss. In einer Weiterbildung ist jedoch trotzdem eine Öffnungshilfe (wie beispielsweise eine Feder) vorgesehen, welche eine Kraft für das Öffnen der Tür bereitstellt. Dadurch öffnet die Tür schnell und sicher, sobald sie von dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen überstrichen wird. Da nur vergleichsweise geringe Kräfte zum Öffnen nötig sind, kann die Öffnungshilfe beispielsweise ein Magnetelement an einem der Tür-Schwenkachse abgewandten Ende der Tür und mindestens ein Magnetelement an bzw. unter der ersten Kolbenoberfläche umfassen.

[0088] Falls die Tür in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist, dann verschließt sie die zweite Brennkammeröffnung der zugehörigen Brennkammer, wenn der mindestens eine Gleitbereich des Arbeitskolbens diese zweite Brennkammeröffnung überstreicht. Eine Außenseite der Tür kann so geformt sein, dass die Außenseite in diesem Zustand die zweite Arbeitsfläche im Bereich dieser zweiten Brennkammeröffnung bündig und formangepasst fortsetzt. Bei dieser Ausführung verschließt also die zweite Kolbenfläche die zweite Brennkammeröffnung nicht unmittelbar, sondern mittelbar über die Tür. Allerdings stützt die zweite Kolbenfläche (bzw. deren mindestens eine Gleitbereich) die Tür außen ab, wenn die Tür geschlossen ist. Die Tür kann die Druckkräfte in der zugehörigen Brennkammer unmittelbar und prak-

tisch vollständig auf die zweite Kolbenfläche übertragen, wenn die Tür vollständig geschlossen ist. Das sorgt für eine hohe Stabilität und eine hohe Zuverlässigkeit. Auch im funktionalen Sinne verschließt die zweite Kolbenfläche die zweite Brennkammeröffnung, da sie sie zugehörige Tür zudrückt, also vor der Zündung verschließt und während der Zündung geschlossen hält.

[0089] Falls die Tür in der zweiten Arbeitsfläche angeordnet ist, ist sie vorzugsweise entlang der Drehrichtung des Arbeitskolbens unmittelbar vor der zugehörigen zweiten Brennkammeröffnung an dem Brennkammergehäuse auf der Seite der zweiten Arbeitsfläche drehbar angelenkt. Die Tür ist um eine Tür-Schwenkachse, die parallel zu der Drehachse ist, verschwenkbar, um die zugehörige zweite Brennkammeröffnung zu öffnen oder verschließen. Wenn das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen (bzw. der mindestens eine Arbeitsvolumen-Bereich des Arbeitskolbens) die zugehörige zweite Brennkammeröffnung überstreicht, öffnet sich die Tür. Dadurch dichtet sie in diesem zweiten Arbeitsvolumen das Expansionsvolumen ab. Zugleich kann durch die geöffnete Tür die unter hohem Druck stehenden Verbrennungsprodukte aus der Brennkammer in das Expansionsvolumen ausströmen.

[0090] Eine Länge der Tür senkrecht zu der Tür-Schwenkachse ist in diesem Fall vorzugsweise größer als der maximale Abstand zwischen der zweiten Arbeitsfläche und der zweiten Kolbenfläche. Selbst wenn die Tür maximal geöffnet ist, drückt der Druck der Verbrennungsprodukte in dem Expansionsvolumen die Tür stärker auf die zweite Kolbenfläche. Der Druck trägt also zu einer verbesserten Abdichtung des Expansionsvolumen an der Tür bei. Die Ausführung der Absperreinrichtung als Tür hat also den Vorteil, dass kein elastisches Element (wie beispielsweise eine Feder) oder zumindest kein starkes elastisches Element für diese Abdichtung sorgen muss. Jedenfalls öffnet sich die Tür automatisch durch den Druck der Verbrennungsprodukte in der zugehörigen Brennkammer. In einer Weiterbildung ist jedoch trotzdem eine Öffnungshilfe (wie beispielsweise eine Feder) vorgesehen, welches eine Kraft für das Öffnen der Tür bereitstellt. Dadurch bleibt die Tür sicher geöffnet, auch wenn das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen die Tür fast vollständig überstrichen hat und sich der Druck in dem Expansionsvolumen einem minimalen Wert nähert. Da nur vergleichsweise geringe Kräfte zum Offenhalten nötig sind, kann die Öffnungshilfe beispielsweise ein Magnetelement an einem der Drehachse abgewandten Ende der Tür und mindestens ein Magnetelement an bzw. unter der zweiten Kolbenoberfläche umfassen.

[0091] In einer Weiterbildung der Erfindung weist das Brennkammergehäuse des feststehenden Mittelteils mehrere Brennkammern auf, die symmetrisch um die Drehachse angeordnet sind.

[0092] Alternativ oder zusätzlich sind die Brennkammern entlang der Drehrichtung des Arbeitskolbens um gleiche Winkelabstände jeweils voneinander versetzt an-

geordnet. Zum Beispiel können diese Winkelabstände zwischen benachbarten Brennkammern bei einer Ausführungsform mit drei Brennkammern 120° betragen, bei einer Ausführungsform mit vier Brennkammern 90° .

[0093] Eine derart regelmäßige Anordnung vereinfacht die Produktion und verringert die Kosten. Außerdem sorgt sie für eine höhere Laufruhe und eine gleichmäßigere Motorkraft.

[0094] Bevorzugt hat der Transportkolben eine hohlzylindrische Grundform, wobei eine dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylindermantelfläche die erste Kolbenfläche bildet und bereichsweise von dem Brennkammergehäuse weg zurückgesetzt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen zwischen dem Transportkolben und dem Brennkammergehäuse auszubilden.

[0095] Wenn beispielsweise die erste Arbeitsfläche auf der radial inneren Zylindermantelfläche des Brennkammergehäuses ist, dann ist eine radial äußere, dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylindermantelfläche des Transportkolbens bereichsweise radial nach innen zurückgesetzt. Das bedeutet, die radial äußere Zylindermantelfläche des Transportkolbens ist - verglichen zu einem idealen Hohlzylinder - bereichsweise ausgespart bzw. eingebuchtet. Es ist mindestens eine solche Aussparung (Einbuchtung) vorhanden.

[0096] Alternativ oder zusätzlich hat der Arbeitskolben bevorzugt eine hohlzylindrische Grundform, wobei eine dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylinderfläche die zweite Kolbenfläche bildet und bereichsweise von dem Brennkammergehäuse weg zurückgesetzt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen zwischen dem Arbeitskolben und dem Brennkammergehäuse auszubilden.

[0097] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind der Transportkolben und der Arbeitskolben bezogen auf ihre jeweiligen hohlzylindrischen Grundformen konzentrisch zueinander um die Drehachse ausgebildet, wobei das Brennkammergehäuse entlang der Radialrichtung (quer zu der Drehachse) unmittelbar zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben angeordnet ist. Das Brennkammergehäuse trennt in diesem Fall entlang der Radialrichtung gesehen einen Bereich für den Transportkolben (eine erste Kolbenkammer) von einem Bereich für den zweiten Transportkolben (eine zweite Kolbenkammer) voneinander ab.

[0098] Wenn beispielsweise die zweite Arbeitsfläche auf der radial äußeren Zylindermantelfläche des Brennkammergehäuses ist, dann ist eine radial innere, dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylindermantelfläche des Arbeitskolbens bereichsweise radial nach außen zurückgesetzt. Das bedeutet, die radial innere Zylindermantelfläche des Arbeitskolbens ist - verglichen zu einem idealen Hohlzylinder - bereichsweise ausgespart bzw. eingebuchtet. Es ist mindestens eine solche Aussparung (Einbuchtung) vorhanden.

[0099] In einer anderen, bevorzugten Ausführungsform sind der Transportkolben und der Arbeitskolben entlang der Längsrichtung versetzt angeordnet sind, wobei

das Brennkammergehäuse entlang der Längsrichtung unmittelbar zwischen dem Transportkolben und dem Arbeitskolben angeordnet ist. Das Brennkammergehäuse trennt in diesem Fall entlang der Längsrichtung gesehen den Bereich für den Transportkolben (die erste Kolbenkammer) von dem Bereich für den zweiten Transportkolben (die zweite Kolbenkammer) voneinander ab.

[0100] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform hat der Transportkolben eine hohlzylindrische Grundform, wobei eine dem Brennkammergehäuse zugewandte Stirnseite die erste Kolbenfläche bildet und entlang der Längsrichtung bereichsweise zurückgesetzt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen zwischen dem Transportkolben und dem Brennkammergehäuse auszubilden

[0101] Wenn beispielsweise die erste Arbeitsfläche einer axial oberen Stirnfläche des Brennkammergehäuses ist, dann ist eine axial untere, dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylindermantelstirnfläche des Transportkolbens bereichsweise in der Längsrichtung (also axial) nach oben zurückgesetzt. Das bedeutet, die axial untere Zylinderstirnfläche des Transportkolbens ist - verglichen zu einem idealen Hohlzylinder - bereichsweise ausgespart bzw. nach oben eingebuchtet. Es ist mindestens eine solche Aussparung (Einbuchtung) vorhanden.

[0102] Alternativ oder zusätzlich ist besonders bevorzugt vorgesehen, dass der Arbeitskolben eine hohlzylindrische Grundform hat, wobei eine dem Brennkammergehäuse zugewandte Stirnseite die zweite Kolbenfläche bildet und bereichsweise zurückgesetzt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen zwischen dem Arbeitskolben (und dem Brennkammergehäuse) auszubilden.

[0103] Wenn beispielsweise die zweite Arbeitsfläche einer axial unteren Stirnfläche des Brennkammergehäuses ist, dann ist eine axial obere, dem Brennkammergehäuse zugewandte Zylindermantelstirnfläche des Arbeitskolbens bereichsweise in der Längsrichtung (also axial) nach unten zurückgesetzt. Das bedeutet, die axial obere Zylinderstirnfläche des Arbeitskolbens ist - verglichen zu einem idealen Hohlzylinder - bereichsweise ausgespart bzw. nach unten eingebuchtet. Es ist mindestens eine solche Aussparung (Einbuchtung) vorhanden.

[0104] Eine Aufgabe der Erfindung besteht ferner darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem Motoreinheit mit Rotationskolben für einer Viertakt-Verbrennungsmaschine mit höherer Effizienz betrieben werden kann.

[0105] Erfindungsgemäß vorgesehen ist ein Verfahren für den Betrieb einer Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium nach einer beliebigen der vorherigen Ausführungsformen, wobei für die mindestens eine Brennkammer die Einlassöffnung zum Ansaugen des Arbeitsmediums ausgebildet ist, welche bei Drehung des Transportkolbens von dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen überstrichen wird, und wobei für die mindestens eine Brennkammer die Auslassöffnung zum Ausstoßen von Verbrennungsprodukten des Arbeitsmediums ausgebildet

ist, welche bei Drehung des Arbeitskolbens von dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen überstrichen wird.

[0106] Das Verfahren umfasst eine andauernde Drehung des Transportkolbens und des Arbeitskolbens entlang deren Drehrichtung und folgende weitere Schritte:

einen Einlassschritt, in welchem das mindestens eine erste Arbeitsvolumen die Einlassöffnung überstreicht;

einen Verdichtungsschritt, umfassend:

- Bewegen des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens von der Einlassöffnung zu der ersten Brennkammeröffnung,
- Verschließen der zweiten Brennkammeröffnung durch die zweite Kolbenfläche;
- Abtrennen des Verdichtungsolumens innerhalb des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens wobei das Verdichtungsolumen in Fluidverbindung mit der ersten Brennkammeröffnung und der mindestens einen Brennkammer steht,
- Verkleinern des Verdichtungsolumens,
- Verschließen der ersten Brennkammeröffnung durch die erste Kolbenfläche, und
- Zünden des Arbeitsmediums in der mindestens einen Brennkammer;

einen Expansionsschritt, umfassend:

- Bewegen des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens zu der zweiten Brennkammeröffnung,
- Abtrennen des Expansionsolumens innerhalb des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens, wobei das Expansionsolumen in Fluidverbindung mit der zweiten Brennkammeröffnung und der mindestens einen Brennkammer steht,
- Vergrößern des Expansionsolumens; sowie

einen Ausstoßschritt, in welchem das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen die Auslassöffnung überstreicht.

[0107] Das Expansionsvolumen wird am Anfang des Expansionsschritts ausgebildet, und zwar an einem - entlang der Drehrichtung des Arbeitskolbens gesehen - vorderen Bereich des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens. Während des Expansionsschritts vergrößert sich das Expansionsvolumen und somit ein Anteil des Expansionsolumens an dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen. Besonders bevorzugt erstreckt sich das Expansionsvolumen am Ende des Expansionsschritts über das komplette mindestens eine zweite Arbeitsvolumen.

[0108] Im Allgemeinen ist die Abtrennung bzw. die Bildung des gesonderten Ansaugvolumens nicht zwingend notwendig. Dann tritt die Einlassöffnung sofort mit dem kompletten mindestens einen ersten Ansaugvolumen in Fluidverbindung, sobald das mindestens eine erste Ansaugvolumen beginnt, die Einlassöffnung zu überstreichen. In einer solchen Konfiguration ist es vorteilhaft, wenn das Arbeitsmedium in dem Einlassschritt aktiv von außen in das mindestens eine erste Arbeitsvolumen gepresst wird, beispielsweise durch einen Kompressor und/oder einen Turbolader.

[0109] Bevorzugt umfasst der Einlassschritt:

- Abtrennen des Ansaugvolumens innerhalb des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens, wobei das Ansaugvolumen in Fluidverbindung mit der Einlassöffnung steht,
- Vergrößern des Ansaugvolumens, und
- Verschließen der Einlassöffnung mit dem Transportkolben.

[0110] Auf diese Weise unterstützt die Motoreinheit das Einlassen des Arbeitsmediums aktiv durch ansaugen. Das Abtrennen kann beispielsweise durch die Absperreinrichtung, wie sie an anderer Stelle der Offenbarung beschrieben ist, bewirkt werden.

[0111] Das Ansaugvolumen wird am Anfang des Einlassschritts ausgebildet, und zwar an einem - entlang der Drehrichtung des Transportkolbens gesehen - vorderen Bereich des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens. Während des Einlassschritts vergrößert sich das Ansaugvolumen und somit ein Anteil des Ansaugvolumens an dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen. Besonders bevorzugt erstreckt sich das Ansaugvolumen am Ende des Einlassschritts über das komplette mindestens eine erste Arbeitsvolumen.

[0112] Ferner ist im Allgemeinen die Abtrennung bzw. Bildung des gesonderten Ausstoßvolumens nicht zwingend notwendig. Dann verbleibt allerdings ein Restanteil der Verbrennungsprodukte in dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen.

[0113] In einer bevorzugten Weiterbildung umfasst der Ausstoßschritt:

- Abtrennen des Ausstoßvolumens innerhalb des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens, wobei das Ausstoßvolumen in Fluidverbindung mit der Auslassöffnung steht,
- Verkleinern des Ausstoßvolumens, und
- Verschließen der Auslassöffnung mit dem Arbeitskolben.

[0114] Dadurch ist sichergestellt, dass die Verbrennungsprodukte von der Motoreinheit selbst vollständig aus dem Ausstoßvolumen ausgestoßen werden. Das Abtrennen kann beispielsweise durch die Absperreinrichtung, wie sie an anderer Stelle der Offenbarung beschrieben ist, bewirkt werden.

[0115] Besonders bevorzugt ist das Ausstoßvolumen am Ende des Verkleinerns vollständig kollabiert.

[0116] Die für die Motoreinheit beschriebenen Ausführungen, Modifikationen, Vorteile und Abläufe gelten entsprechend für das Verfahren und umgekehrt.

[0117] Die erfindungsgemäße Motoreinheit gemäß einer beliebigen der beschriebenen Ausführungsformen eignet sich als Motor in einem Hybrid-Fahrzeug, insbesondere als "Range-Extender". Da es sich um eine Rotationskolben-Motoreinheit handelt, weist sie eine hohe mechanische und akustische Laufruhe auf. Zudem ist sie leicht und kompakt. Das Arbeitsprinzip erlaubt eine hohe Drehzahl und damit eine gute Leistungsdichte bzw. ein gutes Leistungsgewicht. Bevorzugt wird die Motoreinheit mit einer konstanten Nenndrehzahl betrieben, die eine hohe Effizienz sicherstellt.

[0118] Die erfindungsgemäße Motoreinheit gemäß einer beliebigen der beschriebenen Ausführungsformen eignet sich aufgrund der beschriebenen Vorteile auch als Motor für einen Stromgenerator, besonders für einen portablen Stromgenerator.

[0119] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, auch unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbezügen.

[0120] Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt einer ersten, radialen Ausführung einer erfindungsgemäßen Motoreinheit mit zwei Brennkammern in einer Ebene senkrecht zu einer gemeinsamen Drehachse zweier Rotationskolben in der Mitte;

Fig. 2 einen Längsschnitt entlang der Drehachse der radialen Ausführung mit zwei Brennkammern aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Explosionsdarstellung der radialen Ausführung mit zwei Brennkammern aus Fig. 1, wobei oben ein rotierendes Maschinenteil abgebildet ist, in der Mitte eine Innenwand sowie die Rotationskolben, und unten ein feststehendes Maschinenteil (ein feststehendes Mittelteil), wobei die Brennkammern jeweils zwischen einem zugehörigen Paar von Schiebern angeordnet sind, zur besseren Darstellung aber separat dargestellt sind;

Fig. 4a bis 4d charakteristische Phasen eines Maschinenzklus in der radialen Ausführung aus Fig. 1; dabei zeigt Fig. 4a unten auf der linken Seite eine Ansaug-

- phase (bzw. ein Ansaugvolumen) und unten auf der rechten Seite eine Verdichtungsphase (bzw. ein Verdichtungs-volumen), Fig. 4b zeigt einen Zeitpunkt kurz nach einer Zündung, Fig. 4c zeigt oben die beginnende Expansionsphase (bzw. ein Expansions-volumen) und Fig. 4d zeigt oben auf der linken Seite das Ende der Expansionsphase und oben auf der rechten Seite das Ende einer Ausstoßphase (bzw. ein Ausstoßvolumen);
- Fig. 5 eine perspektivische Ansicht einer zweiten axialen Ausführung einer erfindungsgemäßen Motoreinheit mit einem feststehenden Mittelteil in der Mitte und einem oberen, ersten Rotationskolben und einem unteren, zweiten Rotationskolben;
- Fig. 6 eine Detailansicht einer Absperreinrichtung in einer Ausführung als Schieber;
- Fig. 7 eine Detailansicht einer Absperreinrichtung in einer Ausführung als Klappe;
- Fig. 8 die Absperreinrichtungen an einer Brennkammer der radialen Ausführungsform in einer Modifikation als schräg gestellte Schieber;
- Fig. 9 einen Querschnitt senkrecht zu der Drehachse in der Modifikation der radialen Ausführung mit vier Brennkammern;
- Fig. 10 unten eine Entfernung $r(\phi)$ einer zweiten Kolbenfläche von der Drehachse des Arbeitskolbens in einer Radialrichtung in Abhängigkeit von einer Winkelkoordinate ϕ um die Drehachse in einem Zunahmebereich eines Arbeitsvolumen-Bereichs des Arbeitskolbens bei der radialen Ausführung in Fig. 1, in der Mitte eine Ableitung $v(\phi) = dr(\phi)/d\phi$ und oben eine zweite Ableitung $a(\phi) = d^2r(\phi)/d\phi^2$; und
- Fig. 11 eine Detailansicht einer Absperreinrichtung in einer Ausführung als Tür bei der radialen Ausführung der Motoreinheit.
- [0121]** Bei einer in der Fig. 1 gezeigten ersten, radialen Ausführung einer erfindungsgemäßen Motoreinheit strömt ein Arbeitsmedium in radialer Richtung von Einlassöffnungen 8 zu Auslassöffnungen 9.
- [0122]** Bei der in Fig. 5 gezeigten zweiten, axialen Ausführung einer erfindungsgemäßen Motoreinheit bewegt

sich das Arbeitsmedium dagegen im Wesentlichen entlang einer Längsrichtung parallel zu einer Drehachse 7 der Motoreinheit.

[0123] Für gleiche Elemente werden auch in unterschiedlichen Ausführungen gegebenenfalls dieselben Bezugszeichen verwendet und die Erläuterungen und Vorteile gelten entsprechend für die verschiedenen Ausführungen.

[0124] Die in Fig. 1 gezeigte Motoreinheit umfasst einen feststehenden Mittelteil (auch feststehender Mittelteil 1 genannt) und zwei untereinander fest verbundene, drehbar gelagerte Rotationskolben 2 und 3, nämlich einen inneren Transportkolben 2 und einen äußeren Arbeitskolben 3. Durch die Form der Rotationskolben 2, 3 werden zwischen dem jeweiligen Rotationskolben 2, 3 und einem Brennkammergehäuse 18 ein oder mehrere Arbeitsvolumina 4, 31 sowie 30, 34 gebildet.

[0125] Ein Ansaugen (in ein Ansaugvolumen 30) und eine Verdichtung (in einem Verdichtungs-volumen 34) des Arbeitsmediums in einem ersten Arbeitsvolumen 30, 34 erfolgt bei der radialen Ausführung durch den inneren Rotationskolben 2 (auch Transportkolben 2 genannt). Eine Expansion (in einem Expansionsvolumen 4) und ein Ausstoßen (aus einem Ausstoßvolumen 31) der Verbrennungsprodukte erfolgt in einem zweiten Arbeitsvolumen 4, 31 des anderen, äußeren Rotationskolbens 3 (auch Arbeitskolben 3 genannt), wobei jeder der Rotationskolben 2, 3 mindestens eines der Arbeitsvolumen 30, 3 bzw. 4, 31 bildet.

[0126] Das feststehende Mittelteil 1 enthält mindestens eine Brennkammer 5, jedoch können auch mehrere Brennkammern 5 vorhanden sein, die dann vorzugsweise symmetrisch um die Drehachse 7 in dem feststehenden Mittelteil 1 angeordnet sind.

[0127] Motoreinheiten mit mehreren Brennkammern 5 können bei niedrigerer Drehzahl betrieben werden und zeichnen sich durch eine hohe Laufruhe aus. Die Arbeitsvolumina 30, 34 bzw. 4, 31 dürfen dabei maximal einen Winkelbereich überstreichen, der kleiner ist als ein kleinster Winkelbereich zwischen den Einlassöffnungen 6 der Brennkammern 5.

[0128] Bei der in Fig. 5 gezeigten, axialen Ausführung der Motoreinheit sind zwei Brennkammeröffnungen 6a, 6b (eine erste Brennkammeröffnung 6a und eine zweite Brennkammeröffnung 6b) der jeweiligen Brennkammern 5 jeweils parallel zu der Drehachse 7 angeordnet, wobei der Transportkolben 2, das feststehende Mittelteil 1 mit dem Brennkammergehäuse 18 und Arbeitskolben 3 entlang einer Richtung der Drehachse 7 (und somit entlang der Längsrichtung) gesehen hintereinander liegen.

[0129] Bei der in Fig. 1 und Fig. 5 gezeigten, radialen Ausführung der Motoreinheit liegen die beiden Brennkammeröffnungen 6 der (zwei) Brennkammern 5 senkrecht zu der Drehachse 7 und die beiden Rotationskolben 2, 3 sind konzentrisch zu der Drehachse 7 auf beiden Seiten des Brennkammergehäuses 18 angeordnet, wobei der Transportkolben 2 innen liegt.

[0130] Das Öffnen und das Verschließen der Einlass-

öffnungen 8 und der Auslassöffnungen 9 geschieht jeweils durch eine unterschiedlich breite Abdeckung von Dichtflächen 10 durch die Rotationskolben 2, 3 während der Drehbewegung derselben.

[0131] Genauer werden die einzelnen Einlassöffnungen 8 in Abhängigkeit von einer Drehposition des Transportkolbens 2 von der Dichtfläche 10 des Transportkolbens 2 verschlossen oder nicht. Wenn das erste Arbeitsvolumen 30, 34 gerade eine der Einlassöffnungen 8 überstreicht, steht zumindest ein Teil des ersten Arbeitsvolumens 30, 34, genauer gesagt das Ansaugvolumen 30, in Fluidverbindung mit dieser Einlassöffnung 8.

[0132] In ähnlicher Weise werden die einzelnen Auslassöffnungen 9 in Abhängigkeit von einer Drehposition des Arbeitskolbens 3 von der Dichtfläche 10 des Arbeitskolbens 3 verschlossen oder nicht. Wenn das zweite Arbeitsvolumen 4, 31 gerade eine der Auslassöffnungen 9 überstreicht, steht zumindest ein Teil des zweiten Arbeitsvolumens 4, 31, genauer gesagt das Ausstoßvolumen 31, in Fluidverbindung mit dieser Auslassöffnung 9.

[0133] Wenn eine Gleitfläche des jeweiligen Rotationskolbens 2, 3 (eine erste Kolbenfläche 22a des Transportkolbens 2 bzw. eine zweite Kolbenfläche 22b des Arbeitskolbens 3) eng an einer zugehörigen Gleitfläche (einer ersten Arbeitsfläche 21a für den Transportkolben 2 bzw. einer zweiten Arbeitsfläche 21b für den Arbeitskolben 3) des feststehenden Brennkammergehäuses 18 anliegt, werden die dort in der jeweiligen der Arbeitsflächen 21a, 21b angebrachten Brennkammeröffnungen 6a, 6b der Brennkammern 5 dadurch verschlossen. Die sich dort befindenden Absperreinrichtungen 11 werden dann in passenden Aussparungen 12 vollständig versenkt.

[0134] Dichtkanten der Absperreinrichtungen 11 müssen immer eng an der zugehörigen Kolbenfläche 22a, 22b anliegen und das Ansaugvolumen 30 und das Verdichtungs- bzw. das Expansionsvolumen 4 und das Ausstoßvolumen 31 abschließen, was durch einen Anpressdruck von Federn 13 erreicht werden kann.

[0135] Die Federn 13 pressen die Absperreinrichtung 11 (genauer gesagt beispielsweise den Schieber 33 in Fig. 6 und Fig. 8) gegen die erste Kolbenfläche 22a des Transportkolbens 2. Die Federn 13 sind also dazu eingerichtet, die Dichtkanten dichtend an die erste Kolbenfläche 22a anzupressen.

[0136] Eine Schrägstellung der Absperreinrichtungen 11, wie in Fig. 8 gezeigt ist, kann ebenfalls dafür verwendet werden, einen den Notwendigkeiten der Dichtigkeit angepassten Anpressdruck zu erzeugen. Ein Abrieb durch Reibung muss dabei so weit wie möglich vermieden werden. Dazu müssen die Gleitflächen und Dichtflächen poliert sein und können mit Schmierstoffen versehen werden und die Dichtkanten der Absperreinrichtungen 11 können mit verschleißfesten Dichtungslippen 15 oder Dichtungsrollen 28 mit geringer Reibung ausgestattet sein.

[0137] Die Absperreinrichtungen 11 können bei beiden Ausführungen (sowohl in der radialen Ausführung als

auch in der axialen Ausführung) als Schieber 33 ausgelegt sein, die jeweils die Dichtungslippe 15 oder die Dichtungsrollen 28 zur Abdichtung und Verringerung der Reibung aufweisen. Die Schieber 33 werden auf beiden Seiten durch Führungsnuten 16 geführt.

[0138] Bei der radialen Ausführung sind die Führungsnuten 16 in einer Innenwand 14 und in einer Außenwand 26 eingelassen. Die Führungsnuten 16 sind also an Enden der Schieber 33 in der Längsrichtung vorgesehen.

[0139] In der axialen Ausführung sind die Führungsnuten 16 in einem Innengehäuse 32 und einem Außengehäuse 25 eingelassen. Die Führungsnuten 16 sind also an Enden der Schieber 33 in der Radialrichtung quer zu der Drehachse 7 vorgesehen.

[0140] Auf Höhe der Dichtungslippen 15 sind in den Führungsnuten Dichtungskörper 40 zur Abdichtung angebracht.

[0141] In der radialen Ausführung müssen ein Arbeitskolbenmantel 38 und ein tellerförmiger Außendeckel 39 trennbar verbunden sein, da die Innenwand 14 fest mit dem Brennkammergehäuse 18 verbunden werden muss, während die anliegenden Rotationskolben 2, 3 und der Außendeckel 39 drehbar sind. In der radialen Ausführung können auch Klappen 27 (siehe Fig. 7) oder Türen 19 (siehe Fig. 11) als Absperreinrichtungen 11 verwendet werden, die ebenfalls Dichtungslippen 15 oder Dichtungsrollen 25 zur Abdichtung eingebaut haben und eine sichere Führung gewährleisten, jedoch einen größeren Platzverbrauch als die Schieber 33 haben.

[0142] Das erste Arbeitsvolumen 30, 34 ist zwischen der Kolbenfläche 22a des Transportkolbens 2 und der Arbeitsfläche 21a des Brennkammergehäuses ausgebildet (siehe beispielsweise Fig. 1, Fig. 8, Fig. 9). In der in Fig. 9 dargestellten Modifikation der radialen Ausführung mit vier Brennkammern 5 sind zwei erste Arbeitsvolumina ausgebildet.

[0143] Wenn das erste Arbeitsvolumen 30, 34 in Abhängigkeit von der Drehposition des Transportkolbens 2 gerade eine der Absperreinrichtungen 11 überstreicht, dann unterteilt diese Absperreinrichtung 11 dieses erste Arbeitsvolumen 30, 34 in ein Ansaugvolumen 30 und ein Verdichtungs- bzw. das Expansionsvolumen 34. Der Transportkolben 2 befindet sich dabei also in einer solchen Drehposition, dass die erste Kolbenfläche 22a in einem Bereich der ersten Arbeitsfläche 21a, in welchem diese Absperreinrichtung 11 angeordnet ist, gerade von der Arbeitsfläche 21 beabstandet ist, um dort dieses erste Arbeitsvolumen 30, 34 auszubilden.

[0144] Diese Absperreinrichtung 11 ist zu diesem Zeitpunkt nicht vollständig in der Aussparung 16 versenkt. Stattdessen ragt sie in das besagte erste Arbeitsvolumen 30, 34 hinein und unterteilt letzteres dadurch in das zugehörige Ansaugvolumen 30 und das zugehörige Verdichtungs- bzw. das Expansionsvolumen 34. Das zugehörige Ansaugvolumen 30 ist entlang einer Drehrichtung des Transportkolbens 2 gesehen hinter dieser Absperreinrichtung 11 gelegen und das zugehörige Verdichtungs- bzw. das Expansionsvolumen 34 ist entlang der Drehrichtung gesehen vor dieser Absperreinrichtung

11 gelegen (siehe bspw. Fig. 4a unten). Da der Transportkolben 2 und der Arbeitskolben 3 drehfest verbunden sind, entspricht die Drehrichtung des Transportkolbens 2 einer Drehrichtung des Arbeitskolbens 3.

[0145] Im Betrieb der Motoreinheit bildet das erste Arbeitsvolumen 30, 34 durch die Drehung des Transportkolbens 2 zusammen mit den Absperreinrichtungen 11 immer wieder neue Ansaugvolumina 30. Jedes der Ansaugvolumen 30 wird im weiteren Verlauf der Drehung des Transportkolbens 2 jeweils zu einem der Verdichtungs volumina 34. Das geschieht, sobald das jeweilige Ansaugvolumen 30 nicht mehr in Fluidkommunikation mit einer der Einlassöffnungen 8 steht. Im noch weiteren Verlauf der Drehung werden die derart gebildeten Verdichtungs volumina 34 jeweils wieder kollabiert, wobei das darin transportierte Arbeitsmedium in die in der Drehrichtung des Transportkolbens nächste Brennkammer 5 gedrückt und verdichtet wird. Dazu überstreicht das erste Arbeitsvolumen 30, 34, genauer gesagt das darin separierte Verdichtungs volumen 34, die erste Brennkammeröffnung 6a dieser Brennkammer 5.

[0146] Ein Gesamtvolumen des ersten Arbeitsvolumens 30, 34 zwischen der ersten Kolbenfläche 22a des Transportkolbens 2 und der ersten Arbeitsfläche 21a ändert sich dabei - abgesehen von der in das Arbeitsvolumen 30, 34 ausfahrenden Absperreinrichtung 11 (genauer gesagt deren Schieber 33, Klappe 27 oder Tür 19) - nicht.

[0147] Der Ablauf eines Arbeitszyklusses der Motoreinheit verläuft wie bei dem bekannten Ottomotor in vier Phasen.

[0148] In einer ersten Phase wird das kompressible Arbeitsmedium über die Einlassöffnung 8 in das Ansaugvolumen 30, welches sich durch die Drehbewegung des Transportkolbens 2 vergrößert, eingesaugt oder unter Verwendung eines Turboladers (nicht gezeigt) eingepresst. Die in der Drehrichtung vor der Einlassöffnung 8 liegende Absperreinrichtung 11 sperrt dabei das Ansaugvolumen 30 gegenüber dem benachbarten Verdichtungs volumen 34 ab. Im weiteren Verlauf der Drehbewegung wird die Einlassöffnung 8 durch den sich verlagernden Transportkolben 2 verschlossen und das Arbeitsmedium wird zu der nächstliegenden Brennkammeröffnung 6a in der Arbeitsfläche 21a transportiert.

[0149] In einer anschließenden, zweiten Phase wird das Arbeitsmedium in die entsprechende Brennkammer 5 gedrückt und verdichtet (vgl. Verdichtungs volumen 34), indem eine in der Drehrichtung direkt hinter dieser Brennkammeröffnung 6a zu dieser Brennkammer 5 liegende Absperreinrichtung 11 das Verdichtungs volumen 34 absperrt (zu dem nächsten, in der Drehrichtung nachfolgenden Ansaugvolumen 30) und sich das erste Verdichtungs volumen 34 durch die Verlagerung der ersten Kolbenfläche 22a verkleinert, sodass das Arbeitsmedium in die Brennkammer 5 gepresst wird. Zu diesem Zeitpunkt ist die andere, zweite Brennkammeröffnung 6b der Brennkammer 5 durch die zweite Kolbenfläche 22b des Arbeitskolbens 3 verschlossen. Zu einem Zeitpunkt der

maximalen Verdichtung erfolgt die Zündung. Die Zündung kann je nach Arbeitsmedium und maximaler Kompression durch eine Zündvorrichtung 23 oder durch Selbstzündung erfolgen, wobei die maximale Verdichtung einem Verhältnis des maximalen Ansaugvolumens 30 zu einem Volumen der Brennkammer 5 entspricht.

[0150] In einer anschließenden, dritten Phase gibt der Arbeitskolben 3 im Laufe der Drehbewegung die zweite Brennkammeröffnung 6b dieser Brennkammer 5 frei (d.h. die zweite Kolbenfläche 22b des Arbeitskolbens 3 verschließt diese zweite Brennkammeröffnung 6b nun nicht mehr). Das unter hohem Druck befindliche abgebrannte Arbeitsmedium (also Verbrennungsprodukte des Arbeitsmediums) kann in das sich vergrößernde Expansionsvolumen 4 des Arbeitskolbens 3 expandieren. Dabei sperrt eine in der Drehrichtung vor dieser zweiten Brennkammeröffnung 6b liegende Absperreinrichtung 11 das Expansionsvolumen 4. Genauer sperrt diese Absperreinrichtung 11 das Expansionsvolumen 4 gegen das entlang der Drehrichtung gesehen vorige Ausstoßvolumen 31 ab. Diese Absperreinrichtung 11 unterteilt also das zugehörige zweite Arbeitsvolumen 4, 31, das zwischen der Kolbenfläche 22b des Arbeitskolbens 3 und der zweiten Arbeitsfläche 21b ausgebildet ist. Diese Absperreinrichtung 11 überträgt eine Kraft auf das feststehende Mittelteil 1.

[0151] In einer anschließenden, letzten, vierten Phase wird das Expansionsvolumen 4 mit dem expandierten Abgas durch die Drehbewegung des Arbeitskolbens 3 zu der (in der Drehrichtung nächsten) Auslassöffnung 9 transportiert, wo eine in der Drehrichtung nach dieser Auslassöffnung 9 liegende Absperreinrichtung 11 das Ausstoßvolumen 31 absperrt. Das Abgas wird schließlich vollständig durch die Auslassöffnung aus der Maschine heraus transportiert. Dies geschieht durch die weitere Drehung des Arbeitskolbens 3 entlang dessen Drehrichtung und die dadurch hervorgerufene Verkleinerung des Ausstoßvolumens 31. Am Ende der vierten Phase ist das Ausstoßvolumen 31 vollständig kollabiert.

[0152] In diesem Sinne kann das Expansionsvolumen 4 ab einem Zeitpunkt als das Abgasvolumen 31 angesehen werden, ab dem eine Fluidverbindung zu der Auslassöffnung 9 hergestellt ist. Alternativ kann das Expansionsvolumen 4 ab einem Zeitpunkt als das Abgasvolumen 31 angesehen werden, nachdem ein Volumen des Expansionsvolumen 4 seinen maximalen Wert erreicht hat.

[0153] Die Form der Rotationskolben 2, 3 wird durch die Forderung bestimmt, dass die Absperreinrichtungen 11 einer möglichst geringen, also phasenweise konstanten, Beschleunigung ausgesetzt sein sollen. Ziel der Auslegung der Absperreinrichtungen ist es, den Anpressdruck in jeder Phase der Rotation genügend groß zu halten, um die Dichtigkeit zu gewährleisten. Auf der anderen Seite darf der Anpressdruck nicht zu groß werden, weil dadurch unnötige Reibung erzeugt wird. Zu berücksichtigen sind die Summen der Kräfte zum Anpressen der Absperreinrichtungen 11 und der Trägheitskräfte durch

deren Bewegung.

[0154] Die Kühlung der Motoreinheit erfolgt durch ein Kühlmedium, das über Rohre 29 durch ein Inneres des feststehenden Mittelteils 1 geleitet wird. Die sich drehenden Rotationskolben 2, 3 können ebenfalls z.B. durch Luftzufuhr und Kühlrippen äußerlich gekühlt werden.

[0155] Im Folgenden wird die in Fig. 5 gezeigte, axiale Ausführung noch genauer erläutert.

[0156] Die Viertakt-Verbrennungsmaschine in axialer Ausführung für kompressible Arbeitsmedien umfasst den zylindrischen feststehenden Mittelteil 1 mit einer zentralen Achslagerung 17, dem (hohl-)zylindrischen, die zentrale Achslagerung 17 umgebenden Brennkammergehäuse 18 und das (hohl-)zylindrische Außengehäuse 25, an dessen beiden Stirnseiten (in der Längsrichtung parallel zu der Drehachse 7) die Rotationskolben 2, 3 mit jeweils einer tellerförmigen Außenplatte 20 angebracht sind, die über die gemeinsame Drehachse 7 fest verbunden sind.

[0157] An dem Außengehäuse 25 sind eine mechanische Halterung, Anschlüsse für Kraftstoff, Abgas, Kühlmedium, Schmierstoffe und eine eventuell vorhandene Zündeinrichtung 23, sowie die Einlassöffnungen 8 und die Auslassöffnungen 9 angebracht. Eine Innenfläche 24 des Außengehäuses 25 dient als (in Radialrichtung äußere) Dichtfläche für die Rotationskolben 2, 3.

[0158] Das Brennkammergehäuse 18 mit den Brennkammern 5 und den Absperreinrichtungen 11 für das zweite Arbeitsvolumen 4, 31 weist zwei Gleitflächen (erste Arbeitsfläche 21a und zweite Arbeitsfläche 21b) an den ebenen Stirnseiten auf, in welche die Absperreinrichtungen 11 und die Brennkammeröffnungen 6a, 6b der Brennkammern 5 eingebaut sind.

[0159] Die Rotationskolben 2, 3 liegen jeweils mit einer (Stirn-)Seite (der ersten Kolbenfläche 22a bzw. der zweiten Kolbenfläche 22b) teilweise an den Arbeitsflächen 21a, 21b dicht an und bilden Arbeitsvolumina (das erste Arbeitsvolumen 30, 34, unterteilbar in Expansionsvolumen 4 und Abgasvolumen 31, sowie das zweite Arbeitsvolumen 4, 31, unterteilbar in Ansaugvolumen 30 und Verdichtungs-volumen 34) an den Stellen, an denen die jeweilige der Kolbenflächen 22a, 22b von den zugehörigen Arbeitsflächen 21a, 21b entfernt ist.

[0160] Dabei muss mindestens ein Arbeitsvolumen 30, 34 bzw. 4, 31 je Rotationskolben 2, 3 vorhanden sein. Die Größe des Arbeitsvolumens 30, 34 bzw. 4, 31 lässt sich aus einem größten Abstand der jeweiligen Kolbenfläche 22a, 22b zu der zugehörigen Arbeitsfläche 21a, 21b (Kolbenhub), einer Breite des Arbeitsvolumens 30, 34 bzw. 4, 31 und einem überstrichenen Winkelbereich berechnen.

[0161] Ein Ablauf der vier Arbeitstakte kann derart beschrieben werden,

- dass das Arbeitsmedium über eine der Einlassöffnungen 8 in eines der Ansaugvolumen 30, welches sich durch die Drehbewegung und die spezielle Form des Transportkolbens 2 vergrößert, einge-

saugt wird und im Verlauf der Drehbewegung durch die sich verlagernde erste Kolbenfläche 22a eingeschlossen und zu der nächstliegenden Brennkammeröffnung 6a transportiert wird;

- dass sich daraufhin das Verdichtungs-volumen 34 durch die dort befindliche Absperreinrichtung 11 verkleinert;
- dass anschließend gezündet wird, worauf im weiteren Verlauf der Drehbewegung das abgebrannte und unter hohem Druck stehende Arbeitsmedium durch die zweite Brennkammeröffnung 6b, welche sich auf der anderen Seite der Brennkammer 5 befindet, in das Expansionsvolumen 4 expandiert und in dem Expansionsvolumen 4 weiter expandiert, wobei sich das Expansionsvolumen 4 durch die weitere Drehbewegung des Arbeitskolbens 3 vergrößert, und mechanische Arbeit leisten kann;
- bis schließlich durch die nächste der Auslassöffnungen 9 das Abgas ausgestoßen wird.

[0162] Die Motoreinheit für die Viertakt-Verbrennungsmaschine mit den zwei Rotationskolben 2, 3 und getrennten Volumina, die zum Ansaugen (Ansaugvolumen 30), zur Verdichtung (Verdichtungs-volumen 34), zur Expansion (Expansionsvolumen 4), für das Abgas (Ausstoßvolumen 31) eingerichtet sind, und den Brennkammern 5 benötigt keine Ventile.

[0163] Die Motoreinheit zeichnet sich weiter dadurch aus, dass die Brennkammern 5 eine eiförmige Gestalt haben, die für die Anforderungen einer effizienten und vollständigen Verbrennung angepasst werden können und mittig zwischen den Brennkammeröffnungen 6a, 6b positioniert sind. Die Brennkammern 5 sind jeweils gegebenenfalls kleiner als eine axiale Länge des Brennkammergehäuses 18, um eine höhere Kompression zu erzielen.

[0164] Die Brennkammern 5 sind jeweils mit zwei gegenüberliegenden Brennkammeröffnungen (erste Brennkammeröffnung 6a und zweite Brennkammeröffnung 6b) ausgestattet, die jeweils in den Arbeitsflächen 21a, 21b des Brennkammergehäuses 18 liegen und die erste Arbeitsfläche 21a und die zweite Arbeitsfläche 21b direkt verbinden. Damit wird eine Ausrichtung der Brennkammern 5 parallel zu der Drehachse 7 bewirkt. Eine Befüllung der Brennkammern 5 erfolgt nur durch die zugehörige erste Brennkammeröffnung 6a. Zum Zeitpunkt der maximalen Verdichtung, dem Zündzeitpunkt, sind die beiden Brennkammeröffnungen 6a, 6b durch die dicht anliegenden Kolbenflächen 22a, 22b verschlossen.

[0165] Jede der mindestens einen Brennkammer 5 (also jede der mehreren Brennkammern 5 oder die genau eine Brennkammer 5, falls nur eine Brennkammer 5 vorgesehen ist) ist mit jeweils zwei Absperreinrichtungen 11 (genauer mit einer Absperreinrichtung 11 in der Arbeitsfläche 21a und einer Absperreinrichtung 11 in der zweiten Arbeitsfläche 21b), einer Einlassöffnung 8 und einer Auslassöffnung 9 in dem Brennkammergehäuse 18 vorgesehen.

[0166] Wenn mehrere Brennkammern 5 vorgesehen sind, dann sind die Brennkammern 5 mit den jeweils zugehörigen zwei Absperreinrichtungen 11, der zugehörigen Einlassöffnung 8 und der zugehörigen Auslassöffnung 9, vorzugsweise symmetrisch auf einem Umkreis des Brennkammergehäuses 18 verteilt. Das erste Ansaugvolumen 30, 34 und das zweite Ansaugvolumen 4, 31 dürfen dann maximal einen Winkelbereich überstreichen, der kleiner ist als ein kleinster Winkelbereich zwischen den Brennkammeröffnungen (6a oder 6b) der Brennkammern 5. Wenn mehr als ein Arbeitsvolumen 30, 34 bzw. 4, 31 pro Rotationskolben 2, 3 (z.B. bei vier Brennkammern 5 und je zwei Arbeitsvolumina 30, 34 bzw. 4, 31 pro Rotationskolben 2, 3) vorhanden ist, kann die Maschine völlig symmetrisch aufgebaut werden und keine konstruktive Unwucht aufweisen.

[0167] In den Arbeitsflächen 21a, 21b des Brennkammergehäuses 18 befindet sich neben jeder Brennkammeröffnung 6a, 6b eine vollständig versenkbare Absperreinrichtung 11, die auf der Seite des Ansaugvolumens 30 in Drehrichtung vor der Einlassöffnung 8 und hinter der ersten Brennkammeröffnung 6a bzw. auf der Seite des Ausstoßvolumens 31 in Drehrichtung hinter der Auslassöffnung 9 und vor der zweiten Brennkammeröffnung 6b positioniert ist.

[0168] Im Folgenden werden die in Fig. 2 und Fig. 9 gezeigten, radialen Ausführungen noch genauer erläutert.

[0169] Die Motoreinheit der Viertakt-Verbrennungsmaschine in radialer Ausführung für kompressible Arbeitsmedien umfasst den feststehenden Mittelteil 1. Der feststehende Mittelteil 1 umfasst die tellerförmigen Außenwand 26 mit einer zentral befestigten Drehachsenlagerung 17 und Lagerhalterung 36, das konzentrisch zu der Drehachse 7 befestigte, (hohl-)zylindrische Brennkammergehäuse 1, und die Innenwand 14.

[0170] Die Motoreinheit der Viertakt-Verbrennungsmaschine in radialer Ausführung umfasst ferner einen rotierenden Teil aus den zwei konzentrisch angeordneten, (hohl-)zylindrischen Rotationskolben 2, 3, die an dem tellerförmigen Abschlussdeckel 39 über eine Transportkolbenhalterung 35 und einen Arbeitskolbenmantel 38 zusammen mit der zentralen Drehachse 7 befestigt sind, die so gefertigt sind, dass die Drehachse 7 in die Drehachsenlagerung 17 und gleichzeitig das Brennkammergehäuse 18 zwischen die Rotationskolben 2, 3 mit sehr geringem Spiel zusammengesetzt werden können.

[0171] An der Außenwand 26 sind die mechanische Halterung, die Anschlüsse für Kraftstoff, Abgas, Kühlmedium, Schmierstoffe und die eventuell vorhandene Zündeinrichtung 23, sowie die Einlassöffnungen 8 und die Auslassöffnungen 9 angebracht bzw. angeordnet.

[0172] Die Innenfläche 24 der Außenwand 26 dient als Dichtfläche für die Rotationskolben 2, 3, genauer gesagt als Dichtfläche für untere Stirnseiten der Rotationskolben 2, 3.

[0173] Das Brennkammergehäuse 18 mit den Brennkammern 5 und den Absperreinrichtungen 11 für die Ar-

beitsvolumina 30, 34 bzw. 4, 31 weist zwei Gleitflächen (die erste Arbeitsfläche 21a und die zweite Arbeitsfläche 21b) an den zylindermantelförmigen Seiten auf, in welche die Absperreinrichtungen 11 und die Brennkammeröffnungen 6a, 6b der Brennkammern 5 eingebaut sind.

[0174] Die Rotationskolben 2, 3 liegen jeweils mit einer Seite, genauer gesagt mit der jeweiligen Kolbenfläche 22a, 22b, teilweise an der zugehörigen Arbeitsfläche 21a, 21b dicht an. Die ersten Arbeitsvolumina 4, 31 sowie die zweiten Arbeitsvolumina 30, 34 sind jeweils an den Stellen, an denen die Kolbenfläche 22a, 22b von der zugehörigen Arbeitsfläche 21a, 21b entfernt ist. Dabei muss mindestens ein Arbeitsvolumen 30, 34 bzw. 4, 31 je Rotationskolben 2,3 vorhanden sein.

[0175] Eine Größe des Arbeitsvolumens 30, 34 bzw. 4, 31 lässt sich aus einem größten Abstand der entsprechenden Kolbenfläche 22a, 22b zu der zugehörigen Arbeitsfläche 21a, 21b (Kolbenhub), eine Höhe des Arbeitsvolumens 30, 34 bzw. 3, 31 entlang der Längsrichtung und einem überstrichenen Winkelbereich berechnen.

[0176] Ein Ablauf der vier Arbeitstakte kann derart beschrieben werden,

- dass das Arbeitsmedium über eine der Einlassöffnungen 8 in das Ansaugvolumen 30, welches sich durch die Drehbewegung und die spezielle Form des Transportkolbens 2 vergrößert, eingesaugt wird und im Verlauf der Drehbewegung durch die sich verlagernde erste Kolbenfläche 22a eingeschlossen und zu der in Drehrichtung nächstliegenden Brennkammer 5 transportiert wird;
- dass sich daraufhin das Verdichtungs-volumen 34 durch die dort befindliche Absperreinrichtung 11 verkleinert;
- dass anschließend gezündet wird, worauf im weiteren Verlauf der Drehbewegung das abgebrannte und unter hohem Druck stehende Arbeitsmedium durch die zweite Brennkammeröffnung 6b, welche sich (in der Radialrichtung gesehen) auf der anderen Seite der Brennkammer 5 befindet, in das Expansionsvolumen 4 expandiert und in dem Expansionsvolumen 4 weiter expandiert, wobei sich das Expansionsvolumen 4 durch die weitere Drehbewegung des Arbeitskolbens 3 vergrößert, und mechanische Arbeit leisten kann;
- bis schließlich durch die nächste der Auslassöffnung 9 das Abgas ausgestoßen wird.

[0177] Auch die radialen Ausführungen der Motoreinheit für die Viertakt-Verbrennungsmaschine mit den Rotationskolben 2, 3 und getrennten Volumina, die zum Ansaugen (Ansaugvolumen 30), zur Verdichtung (Verdichtungs-volumen 34), zur Expansion (Expansionsvolumen 4) und für das Abgas (Ausstoßvolumen 31) eingerichtet sind, und den Brennkammern 5 benötigt keine Ventile.

[0178] Die Motoreinheit zeichnet sich bei den axialen Ausführungen weiter dadurch aus, dass die Brennkammern 5 eine eiförmige Gestalt haben, die für die Anfor-

derungen einer effizienten und vollständigen Verbrennung angepasst werden können und mittig zwischen den Brennkammeröffnungen 6a, 6b positioniert sind. Die Brennkammern 5 sind gegebenenfalls kleiner als eine radiale Breite des Brennkammergehäuses 18, um eine höhere Kompression zu erzielen.

[0179] Die Brennkammern 5 sind jeweils mit zwei gegenüberliegenden Brennkammeröffnungen (erste Brennkammeröffnung 6a und zweite Brennkammeröffnung 6b) ausgestattet, die jeweils in den Arbeitsflächen 21a, 21b des Brennkammergehäuses 18 liegen und die erste Arbeitsfläche 21a und die zweite Arbeitsfläche 21b direkt verbinden. Damit wird eine Ausrichtung der Brennkammern 5 senkrecht zu der Drehachse 7 bewirkt. Eine Befüllung der Brennkammern 5 erfolgt nur durch die zugehörige erste Brennkammeröffnung 6a. Zum Zeitpunkt der maximalen Verdichtung, dem Zündzeitpunkt, werden die beiden Brennkammeröffnungen 6a, 6b durch die dicht anliegenden Kolbenflächen 22a, 22b verschlossen.

[0180] Jede der mindestens einen Brennkammer 5 (also jede der mehreren Brennkammern 5 oder die genau eine Brennkammer 5, falls nur eine Brennkammer 5 vorgesehen ist) ist mit jeweils zwei Absperreinrichtungen 11 (genauer mit einer Absperreinrichtung 11 in der Arbeitsfläche 21a und einer Absperreinrichtung 11 in der zweiten Arbeitsfläche 21b), einer Einlassöffnung 8 und einer Auslassöffnung 9 in dem Brennkammergehäuse 18 vorgesehen.

[0181] Wenn mehrere Brennkammern 5 vorgesehen sind, dann sind die Brennkammern 5 mit den jeweils zugehörigen zwei Absperreinrichtungen 11, der zugehörigen Einlassöffnung 8 und der zugehörigen Auslassöffnung 9 vorzugsweise symmetrisch auf dem Umkreis des Brennkammergehäuses 18 verteilt. Das erste Arbeitsvolumen 30, 34 und das zweite Arbeitsvolumen 4, 31 dürfen dann maximal einen Winkelbereich überstreichen, der kleiner ist als ein kleinster Winkelbereich zwischen den Brennkammeröffnungen 6a, 6b der Brennkammern 5. Wenn mehr als ein Arbeitsvolumen 30, 34 bzw. 4, 31 pro Rotationskolben 2, 3 (z.B. bei vier Brennkammern 5 und je zwei Arbeitsvolumina 30, 34 bzw. 4, 31 pro Rotationskolben 2, 3) vorhanden ist, kann die Maschine völlig symmetrisch aufgebaut werden und keine konstruktive Unwucht aufweisen.

[0182] Steigungen der Kolbenflächen 22a, 22b bestimmen die Bewegung der Absperreinrichtungen 11. Die Absperreinrichtungen 11 (genauer beispielsweise deren Schieber 33, Klappe 27 oder Tür 19) bewegen sich mit phasenweise konstanter Beschleunigung. Ein Abstand r der Kolbenfläche 22a, 22b in der Radialrichtung von der Drehachse 7 ist - wenn der jeweilige Rotationskolben 2, 3 ruht - nur eine Funktion des Drehwinkels ϕ . Eine zweite Ableitung dieser Funktion $r(\phi)$ nach dem Drehwinkel ϕ ist bereichsweise konstant mit den weiteren Randbedingungen, dass die Kolbenflächen 22a, 22b am Anfang und Ende der Übergangsbereiche genau zylindermantelförmig sind, weil die Kolbenflächen an diesen Stellen parallel zu den (zylindermantelförmigen) Arbeitsflächen

21a, 21b ausgerichtet sind, und dass die Einlassöffnungen 8 und die Auslassöffnungen 9 durch die seitlichen Dichtflächen 10 der Rotationskolben 2, 3 im Verlauf der Drehbewegung verschlossen oder freigegeben werden.

[0183] Auch bei den radialen Ausführungen befindet sich in den Arbeitsflächen 21a, 21b des Brennkammergehäuses 18 neben jeder Brennkammeröffnung 6a, 6b eine vollständig versenkbare Absperreinrichtung 11, die auf der Seite des Ansaugvolumens 30 in Drehrichtung vor der Einlassöffnung 8 und hinter der ersten Brennkammeröffnung 6a bzw. auf der Seite des Ausstoßvolumens 31 in Drehrichtung hinter der Auslassöffnung 9 und vor der zweiten Brennkammeröffnung 6b positioniert ist.

[0184] Fig. 10 zeigt eine Entfernung $r(\phi)$ der zweiten Kolbenfläche 22b von der Drehachse des Arbeitskolbens 3 in der Radialrichtung in Abhängigkeit von einer Winkelkoordinate ϕ um die Drehachse in einem Zunahmebereich eines Arbeitsvolumen-Bereichs des Arbeitskolbens 3 bei der radialen Ausführung in Fig. 1. Die Winkelkoordinate ϕ steigt entgegen der Drehrichtung an.

[0185] Der Zunahmebereich beginnt bei einer Winkelkoordinate ϕ_1 und endet bei einer Winkelkoordinate ϕ_2 .

[0186] Vor der Winkelkoordinate ϕ_1 - also vor dem Zunahmebereich - schließt einer der Gleitbereiche der zweiten Kolbenfläche 22b an. In dem Gleitbereich entspricht die Entfernung $r(\phi)$ (zumindest im Wesentlichen) konstant einem Wert r_1 . In dem Gleitbereich hat die zweite Kolbenfläche 22b also die Form eines Teils eines Zylindermantels mit dem Radius r_1 .

[0187] Nach der Winkelkoordinate ϕ_2 - also nach dem Zunahmebereich - schließt ein Konstantbereich eines Arbeitsvolumen-Bereichs der zweiten Kolbenfläche 22b an. In dem Konstantbereich entspricht die Entfernung $r(\phi)$ (zumindest im Wesentlichen) konstant einem Wert r_2 . In dem Konstantbereich hat die zweite Kolbenfläche 22b also die Form eines Teils eines Zylindermantels mit dem Radius r_2 .

[0188] Die zweite Arbeitsfläche 21b ist zylindermantelförmig und hat einen konstanten Radius, der zumindest im Wesentlichen dem Radius r_1 entspricht. Der Radius der zweiten Arbeitsfläche kann minimal kleiner sein als der Radius r_1 , damit eine ausreichende Beweglichkeit des Arbeitskolbens 3 sichergestellt ist.

[0189] Die Funktion $r(\phi)$ beschreibt demnach nicht nur die Form der zweiten Kolbenfläche 22b, sondern auch einen Abstand zwischen der zweiten Kolbenfläche 22b und der zweiten Arbeitsfläche 21b in der Radialrichtung.

[0190] In der Mitte von Fig. 10 ist die Ableitung $v(\phi) = dr(\phi)/d\phi$ der Funktion $r(\phi)$ gezeigt und oben in Fig. 10 ist die zweite Ableitung $a(\phi) = d^2r(\phi)/d\phi^2$ der Funktion $r(\phi)$ dargestellt.

[0191] In dem Gleitbereich links von ϕ_1 sind die Ableitung $v(\phi)$ und die zweite Ableitung $a(\phi)$ konstant null. Dasselbe gilt in dem Konstantbereich rechts von ϕ_2 .

[0192] In einem Anfangsteil des Zunahmebereichs zwischen ϕ_1 und $(\phi_1 + \phi_2)/2$ steigt die Ableitung $v(\phi)$ linear an. Bei $(\phi_1 + \phi_2)/2$ erreicht sie einen Maximalwert. Über

den gesamten Anfangsteil hat die zweite Ableitung $a(\phi)$ einen konstanten, positiven Wert. Im Anfangsteil nimmt $r(\phi)$ quadratisch zu.

[0193] In einem Endteil des Zunahmebereichs zwischen $(\phi_1 + \phi_2)/2$ und ϕ_2 fällt die Ableitung $v(\phi)$ linear. Über den gesamten Endteil hat die zweite Ableitung $a(\phi)$ einen konstanten, negativen Wert.

[0194] Zusätzlich ist in der gezeigten Ausführungsform ein Betrag von $a(\phi)$ im Anfangsteil und im Endteil gleich.

[0195] Nach dem Konstantbereich folgt ein entsprechend geformter Abnahmebereich des Arbeitsvolumen-Bereichs des Arbeitskolbens 3. In dem Abnahmebereich sind die Vorzeichen der Ableitung $v(\phi)$ und der zweiten Ableitung $a(\phi)$ jeweils umgekehrt. Der Verlauf von $r(\phi)$ in dem Abnahmebereich ist - bezogen auf eine Mitte des dazwischen angeordneten Konstantbereichs - sozusagen spiegelsymmetrisch zu dem in Fig. 10 unten gezeigten Verlauf im Zunahmebereich.

[0196] Wenn der Arbeitskolben mehrere Arbeitsvolumen-Bereiche aufweist, dann setzt sich die zweite Kolbenfläche 22b insgesamt (also über den gesamten Verlauf der Winkelkoordinate ϕ von 0° bis 360°) aus einer entsprechenden Anzahl aus solchen Gleitbereichen, Zunahmebereichen, Konstantbereichen und Abnahmebereichen hintereinander zusammen.

[0197] Wenn sich der Arbeitskolben 3 entlang der Drehrichtung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit bewegt, dann lässt sich die Entfernung der zweiten Kolbenfläche 22b von der Drehachse in der Radialrichtung an einer festgehaltenen Winkelkoordinate ϕ_0 durch eine entsprechende Funktion $r(\phi_0, t)$ beschreiben. Das gilt insbesondere auch an den Positionen der Absperreinrichtungen 11. Entsprechend wird die jeweilige Absperrvorrichtung 11 entlang der Radialrichtung wie folgt bewegt:

- sie wird nicht bewegt und nicht beschleunigt, solange einer der Gleitbereiche die Absperreinrichtung 11 überstreicht;
- wenn einer der Zunahmebereiche die Absperreinrichtung 11 überstreicht, wird die Absperrvorrichtung in dessen Anfangsteil mit konstanter positiver Beschleunigung in der Radialrichtung nach außen beschleunigt und dann mit konstanter negativer Beschleunigung gebremst, bis sie vollständig ausgefahren ist;
- sie wird nicht bewegt und nicht beschleunigt, solange der darauffolgende Konstantbereich die Absperreinrichtung 11 überstreicht; und
- wenn der darauffolgende Abnahmebereich die Absperreinrichtung 11 überstreicht, wird die Absperrvorrichtung in dessen Anfangsteil mit konstanter negativer Beschleunigung in der Radialrichtung nach innen beschleunigt und dann mit konstanter positiver Beschleunigung gebremst, bis sie vollständig eingefahren ist und vom nächsten Gleitbereich überstrichen wird.

[0198] Die erste Kolbenfläche 22a ist in vergleichbarer

Art und Weise ausgebildet. Die Vorzeichen bzw. Verläufe der in Fig. 10 gezeigten Funktionen kehren sich allerdings entsprechend um, da eine Entfernung $r(\phi)$ der ersten Kolbenfläche 22a von der Drehachse in den Arbeitsvolumen-Bereichen des Transportkolbens kleiner ist als in den Gleitbereichen.

[0199] Bei der in Fig. 5 gezeigten, radialen Ausführung ist eine Höhe $z(\phi)$ der Kolbenfläche 22a, 22b in der Längsrichtung - wenn die Rotationskolben 2, 3 ruhen - nur eine Funktion einer Winkelkoordinate ϕ . Eine zweite Ableitung $d^2z(\phi)/d\phi^2$ ist bereichsweise konstant mit den weiteren Randbedingungen, dass die Steigung $dz(\phi)/d\phi$ am Anfang und am Ende des Zunahmebereichs und des Abnahmebereichs jeweils gleich Null ist, weil die Kolbenflächen 22, 22b an diesen Stellen jeweils parallel zu den Kreisring-förmigen, ebenen Arbeitsflächen 21a, 21b ausgerichtet sind, und dass die Einlassöffnungen 8 und die Auslassöffnungen 9 durch die seitlichen Dichtflächen 10 der Rotationskolben 2, 3 im Verlauf der Drehbewegung verschlossen oder freigegeben werden.

[0200] Die Formen der Kolbenflächen 22a, 22b bestimmen die Bewegung der Absperreinrichtungen 11. Die Absperreinrichtungen 11 (genauer beispielsweise der Schieber 33, die Klappe 27 oder die Tür 19) bewegen sich entlang der Radialrichtung jeweils mit phasenweise konstanter Beschleunigung. Sie werden so vergleichsweise wenig belastet.

[0201] Fig. 11 zeigt eine Detailansicht einer Modifikation der radialen Ausführung aus Fig. 1, in welcher Türen 19 als Absperreinrichtungen verwendet werden. Ähnlich wie in Fig. 1 und Fig. 4a bis 4d handelt es sich um eine Querschnittsdarstellung mit einer Schnittebene senkrecht zu der Drehachse.

[0202] Für die gezeigte Brennkammer 5 ist eine Tür 19 in der ersten Arbeitsfläche 21a angeordnet. Wenn diese Tür 19 verschlossen ist, verschließt sie die erste Brennkammeröffnung 6a der Brennkammer 5. Eine Innenseite dieser Tür 19 ist dann einem Innenraum der Brennkammer 5 zugewandt und bildet einen Teil einer Wand der Brennkammer 5. Die Innenseite der Tür 19 hat die Form eines Ausschnitts einer eiförmigen oder kugelförmigen Oberfläche und vervollständigt, wenn die Tür 19 geschlossen ist, die eiförmige oder kugelförmige Innenwand der Brennkammer 5, die vom Brennkammergehäuse 18 ausgebildet wird, an der ersten Brennkammeröffnung 6a bündig und mit entsprechender Ei- oder Kugelform. Die Tür 19 in der ersten Arbeitsfläche 21a ist in Drehrichtung des Transportkolbens 2 unmittelbar hinter der ersten Brennkammeröffnung 6a der zugehörigen Brennkammer 5 drehbar angelenkt. In Drehrichtung des Transportkolbens 2 dahinter folgt unmittelbar die Einlassöffnung 8 für die in Drehrichtung nächstgelegene Brennkammer 5. Die Tür 19 ist um eine Tür-Schwenkachse, die senkrecht zu der Bildebene und parallel zu der Drehachse verläuft, verschwenkbar. In Fig. 11 ist die Tür 19 gerade geöffnet. Eine Länge der Tür 19 senkrecht zu ihrer Tür-Schwenkachse ist länger als ein maximaler Abstand zwischen der ersten Arbeitsfläche 21a und der ers-

ten Kolbenfläche 22a. Selbst wenn die Tür 19 wie in Fig. 11 maximal geöffnet ist, liegt sie an der ersten Kolbenfläche 22a bevorzugt mit einem Winkel an, der kleiner ist als 80°, besonders bevorzugt kleiner als 60°. Dadurch bewirkt ein Druck des Arbeitsmediums in dem Verdichtungs-
volumen 34 eine Anpresskraft der Tür 19 an die erste Kolbenfläche 22a. Das verbessert die Abdichtung zwischen der Tür 19 und der ersten Kolbenfläche 22a. Die Tür 19 muss nicht oder nicht allein durch eine Öffnungsvorrichtung, beispielsweise eine Feder, offengehalten werden. Allerdings ist dennoch eine Öffnungsvorrichtung in Form einer Feder (nicht gezeigt) vorgesehen, damit die Tür 19 zuverlässig öffnet, sobald eines der ersten Arbeitsvolumina 30, 34 die erste Brennkammeröffnung 6a erreicht. Dann teilt die Tür 19 das überstreichende erste Arbeitsvolumen 30, 34, wie es in Fig. 11 gezeigt ist, in das zugehörige Verdichtungs-
volumen 34 und das zugehörige Einlassvolumen 30 für die nächste Brennkammer 5 auf.

[0203] Analog ist für die in Fig. 11 gezeigte Brennkammer 5 eine weitere Tür 9 in der zweiten Arbeitsfläche 21b ausgebildet. Sie ist in Drehrichtung des Arbeitskolbens 3 unmittelbar vor der zweiten Brennkammeröffnung 6b angebracht. In Fig. 11 ist eine gemeinsame Drehrichtung des Transportkolbens 2 und des Arbeitskolbens 3 entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Ausführungen zu der Tür 19 in der ersten Arbeitsfläche 21a gelten entsprechend.

[0204] Wenn die beiden Türen 19 geschlossen sind, hat eine Querschnittsfläche der dazwischenliegenden Brennkammer 5 eine kreisförmige Gestalt. Das ermöglicht besonders gute Zünd- und Verbrennungseigenschaften.

[0205] Bei der Erfindung handelt es sich um eine Viertakt-Verbrennungsmaschine, die konstruktiv einfach aufgebaut ist und aus wenigen Teilen besteht, die keine Ventile benötigt, die eine Unwucht durch sich hin und her bewegende Teile nahezu ganz vermeidet und die sich durch kompakte Brennkammern 5 mit günstigen Brennraumeigenschaften auszeichnet. In der oben erwähnten Offenlegungsschrift EP 0 085 427 A1 mit dem Veröffentlichungstag 10.08.1983 ist ein Viertaktverbrennungsmotor mit zwei Rotationskolben beschrieben worden. Die hier beschriebene Motoreinheit ist jedoch einfacher konstruiert. Insbesondere entfällt eine sich sehr schnell bewegende Ventilklappe, die das unter hohem Druck stehende gezündete Arbeitsmedium aus der Brennkammer entlässt.

Patentansprüche

1. Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium, umfassend:

einen feststehenden Mittelteil (1);
einen Transportkolben (2); und
einen Arbeitskolben (3);

wobei der Transportkolben (2) und der Arbeitskolben (3) untereinander fest verbunden sind und relativ zu dem feststehenden Mittelteil (1) um eine gemeinsame Drehachse (7) drehbar gelagert sind;

dadurch gekennzeichnet, dass das feststehende Mittelteil (1) ein Brennkammergehäuse (18) umfasst, welches zwischen dem Transportkolben (2) und dem Arbeitskolben (3) angeordnet ist und eine erste Arbeitsfläche (21a) für den Transportkolben (2) und eine zweite Arbeitsfläche (21b) für den Arbeitskolben (3) aufweist,

- wobei aufgrund einer Form des Transportkolbens (2) mindestens ein erstes Arbeitsvolumen (30, 34) zwischen dem Transportkolben (2) und der ersten Arbeitsfläche (21a) ausgebildet ist und

- wobei aufgrund einer Form des Arbeitskolbens (3) zwischen dem Arbeitskolben (3) und der zweiten Arbeitsfläche (21b) mindestens ein zweites Arbeitsvolumen (4, 31) ausgebildet ist; und

dass das Brennkammergehäuse (18) mindestens eine Brennkammer (5) aufweist, wobei die mindestens eine Brennkammer (5) eine erste Brennkammeröffnung (6a), die sich an der ersten Arbeitsfläche (21a) öffnet, sowie eine zweite Brennkammeröffnung (6b), welche sich an einer zweiten Arbeitsfläche (21b) öffnet, aufweist.

2. Motoreinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Brennkammer (5) eine ellipsoide, kugelförmige, eiförmige oder zylindrische Grundform aufweist.

3. Motoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Kolbenfläche (22a) des Transportkolbens (2) bereichsweise an der ersten Arbeitsfläche (21a) dichtend anliegt und bereichsweise von der ersten Arbeitsfläche (21a) entfernt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (30, 34) auszubilden, wobei die erste Kolbenfläche (22a) die erste Brennkammeröffnung (6a) verschließt, wenn die erste Kolbenfläche (22a) in Abhängigkeit von einer Drehposition des Transportkolbens (2) an einem Bereich der ersten Arbeitsfläche (21a) mit der ersten Brennkammeröffnung (6a) dichtend anliegt; und dass eine zweite Kolbenfläche (22b) des Arbeitskolbens (3) bereichsweise an der zweiten Arbeitsfläche (21b) dichtend anliegt und bereichsweise von der zweiten Arbeitsfläche (21b) entfernt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen (4, 31) auszubilden, wobei die zweite Kolbenfläche (22b) die zweite Brennkammeröffnung (6b) verschließt, wenn die

zweite Kolbenfläche (22b) in Abhängigkeit von einer Drehposition des Arbeitskolbens (3) an einem Bereich der zweiten Arbeitsfläche (21b) mit dieser zweiten Brennkammeröffnung (6b) dichtend anliegt.

4. Motoreinheit nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Kolbenfläche (22a) die erste Brennkammeröffnung (6a) zu einem Zeitpunkt der maximalen Verdichtung des Arbeitsmediums und/oder eines Zündzeitpunkts für die mindestens eine Brennkammer (5) verschließt und dass gleichzeitig die zweite Kolbenfläche (22b) die zweite Brennkammeröffnung (6b) verschließt.

5. Motoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem feststehenden Mittelteil (1) für jede der mindestens einen Brennkammer (5) eine Einlassöffnung (8) zum Ansaugen des Arbeitsmediums ausgebildet ist, welche bei Drehung des Transportkolbens (2) von dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen (30, 34) überstrichen wird, dass für jede der mindestens einen Brennkammer (5) eine vollständig versenkbare Absperreinrichtung (11) in der ersten Arbeitsfläche (21a) angeordnet ist, welche entlang einer Drehrichtung des Transportkolbens (2) gesehen hinter der ersten Brennkammeröffnung (6a) dieser Brennkammer (5) und vor der nächsten Einlassöffnung (8) positioniert ist und welche in Abhängigkeit von der Drehposition des Transportkolbens (2) in dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen (30, 31) ein Verdichtungs-volumen (34) begrenzt.

6. Motoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem feststehenden Mittelteil (1) für jede der mindestens einen Brennkammer (5) eine Auslassöffnung (9) zum Ausstoßen von Verbrennungsprodukten des Arbeitsmediums ausgebildet ist, welche bei Drehung des Arbeitskolbens (2) von dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen (4, 31) überstrichen wird, dass für jede der mindestens einen Brennkammer (5) eine vollständig versenkbare Absperreinrichtung (11) in der zweiten Arbeitsfläche (21b) angeordnet ist, welche entlang einer Drehrichtung des Arbeitskolbens (3) gesehen vor der zweiten Brennkammeröffnung (6b) dieser Brennkammer (5) und hinter der vorherigen Auslassöffnung (9) positioniert ist und welche abhängig von einer Drehposition des Arbeitskolbens (3) in dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen (4, 31) ein Expansionsvolumen (4) begrenzt.

7. Motoreinheit nach Anspruch 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transportkolben (2) derart geformt ist, dass jede der mindestens einen ersten Absperreinrichtung (11), die in der ersten Arbeitsflä-

che (21a) angeordnet ist, bei Drehung des Transportkolbens (2) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit einer phasenweise konstanten Beschleunigung ausgesetzt ist und

- 5 dass der Arbeitskolben (3) derart geformt ist, dass jede der mindestens einen ersten Absperreinrichtung (11), die in der zweiten Arbeitsfläche (21b) angeordnet ist, bei einer Drehung des Arbeitskolbens (3) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit einer phasenweise konstanten Beschleunigung ausgesetzt ist.

- 10 8. Motoreinheit nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Absperreinrichtung (11) einen Schieber (33), eine Klappe (27), oder eine Tür (19) umfasst, welche in einer zugehörigen passenden Aussparung (12) in dem Brennkammergehäuse (18) vollständig versenkbar ist.

- 15 9. Motoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Brennkammergehäuse (18) des feststehenden Mittelteils (1) mehrere Brennkammern (5) aufweist, die symmetrisch um die Drehachse (7) angeordnet sind.

- 20 10. Motoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transportkolben (2) eine hohlzylindrische Grundform hat, wobei eine dem Brennkammergehäuse (18) zugewandte Zylindermantelfläche die erste Kolbenfläche (22a) bildet und bereichsweise von dem Brennkammergehäuse (18) weg zurückgesetzt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (30, 34) zwischen dem Transportkolben (2) und dem Brennkammergehäuse (18) auszubilden; und/oder dass der Arbeitskolben (3) eine hohlzylindrische Grundform hat, wobei eine dem Brennkammergehäuse (18) zugewandte Zylinderfläche die zweite Kolbenfläche (22b) bildet und bereichsweise von dem Brennkammergehäuse (18) weg zurückgesetzt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen (4, 31) zwischen dem Arbeitskolben (3) und dem Brennkammergehäuse (18) auszubilden.

- 25 11. Motoreinheit nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transportkolben (2) und der Arbeitskolben (3) bezogen auf ihre jeweiligen hohlzylindrischen Grundformen konzentrisch zueinander um die Drehachse (7) ausgebildet sind, wobei das Brennkammergehäuse (18) die erste Kolbenkammer und die zweite Kolbenkammer entlang einer Radialrichtung quer zu der Drehachse (7) unmittelbar zwischen dem Transportkolben (2) und dem Arbeitskolben (3) angeordnet ist.

- 30 12. Motoreinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transportkolben (2) und der Arbeitskolben (3) entlang der Längsrich-

tung versetzt angeordnet sind, wobei das Brennkammergehäuse (18) entlang der Längsrichtung unmittelbar zwischen dem Transportkolben (2) und dem Arbeitskolben (3) angeordnet ist.

13. Motoreinheit nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Transportkolben (2) eine hohlzylindrische Grundform hat, wobei eine dem Brennkammergehäuse (18) zugewandte Stirnseite die erste Kolbenfläche (22a) bildet und entlang der Längsrichtung bereichsweise zurückgesetzt ist, um das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (30, 34) zwischen dem Transportkolben (2) und dem Brennkammergehäuse (18) auszubilden; und/oder dass der Arbeitskolben (3) eine hohlzylindrische Grundform hat, wobei eine dem Brennkammergehäuse (18) zugewandte Stirnseite die zweite Kolbenfläche (22b) bildet und bereichsweise zurückgesetzt ist, um das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen (4, 31) zwischen dem Arbeitskolben (3) und dem Brennkammergehäuse (18) auszubilden.

14. Verfahren für den Betrieb einer Motoreinheit für eine Viertakt-Verbrennungsmaschine für ein kompressibles Arbeitsmedium nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für die mindestens eine Brennkammer (5) die Einlassöffnung (8) zum Ansaugen des Arbeitsmediums ausgebildet ist, welche bei Drehung des Transportkolbens (2) von dem mindestens einen ersten Arbeitsvolumen (30, 34) überstrichen wird, und wobei für die mindestens einen Brennkammer (5) die Auslassöffnung (9) zum Ausstoßen von Verbrennungsprodukten des Arbeitsmediums ausgebildet ist, welche bei Drehung des Arbeitskolbens (2) von dem mindestens einen zweiten Arbeitsvolumen (4, 31) überstrichen wird; wobei das Verfahren eine andauernde Drehung des Transportkolbens (2) und des Arbeitskolbens (3) entlang deren Drehrichtung und folgende Schritte umfasst:

einen Einlassschritt, in welchem das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (30, 34) die Einlassöffnung (8) überstreicht und in welchem das Arbeitsmedium in das mindestens eine erste Arbeitsvolumen (30, 34) strömt;

einen Verdichtungsschritt, umfassend:

- Bewegen des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens (30, 34) von der Einlassöffnung (8) zu der ersten Brennkammeröffnung (6a),
- Verschließen der zweiten Brennkammeröffnung (6b) durch die zweite Kolbenfläche (22b);
- Abtrennen des Verdichtungs volumens (34) innerhalb des mindestens einen ersten Arbeitsvolumens (30, 34), wobei das Ver-

dichtungs volumen (34) in Fluidverbindung mit der ersten Brennkammeröffnung (6a) und der mindestens einen Brennkammer (5) steht,

- Verkleinern des Verdichtungs volumens (34),
- Verschließen der ersten Brennkammeröffnung (6a) durch die erste Kolbenfläche (22a), und
- Zünden des Arbeitsmediums in der mindestens einen Brennkammer (5) des feststehenden Mittelteils;

einen Expansionsschritt, umfassend:

- Bewegen des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens (4, 31) zu der zweiten Brennkammeröffnung (6b),
- Abtrennen des Expansionsvolumens (31) innerhalb des mindestens einen zweiten Arbeitsvolumens (4, 31), wobei das Expansionsvolumen (4) in Fluidverbindung mit der zweiten Brennkammeröffnung (6b) und der mindestens einen Brennkammer (5) steht,
- Vergrößern des Expansionsvolumens (4); sowie

einen Ausstoßschritt, in welchem das mindestens eine zweite Arbeitsvolumen (4, 31) die Auslassöffnung (9) überstreicht.

Fig. 1

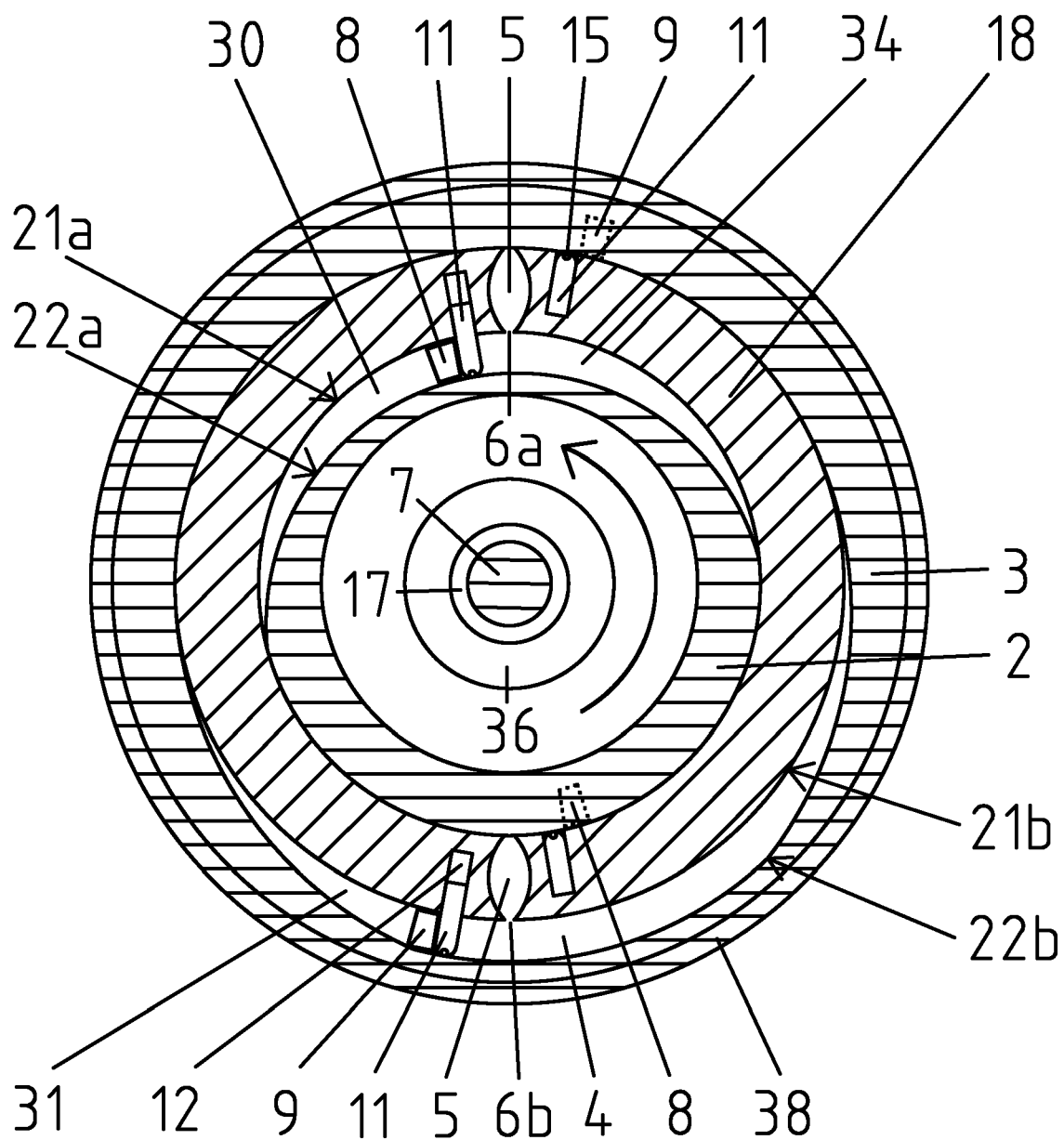


Fig. 2

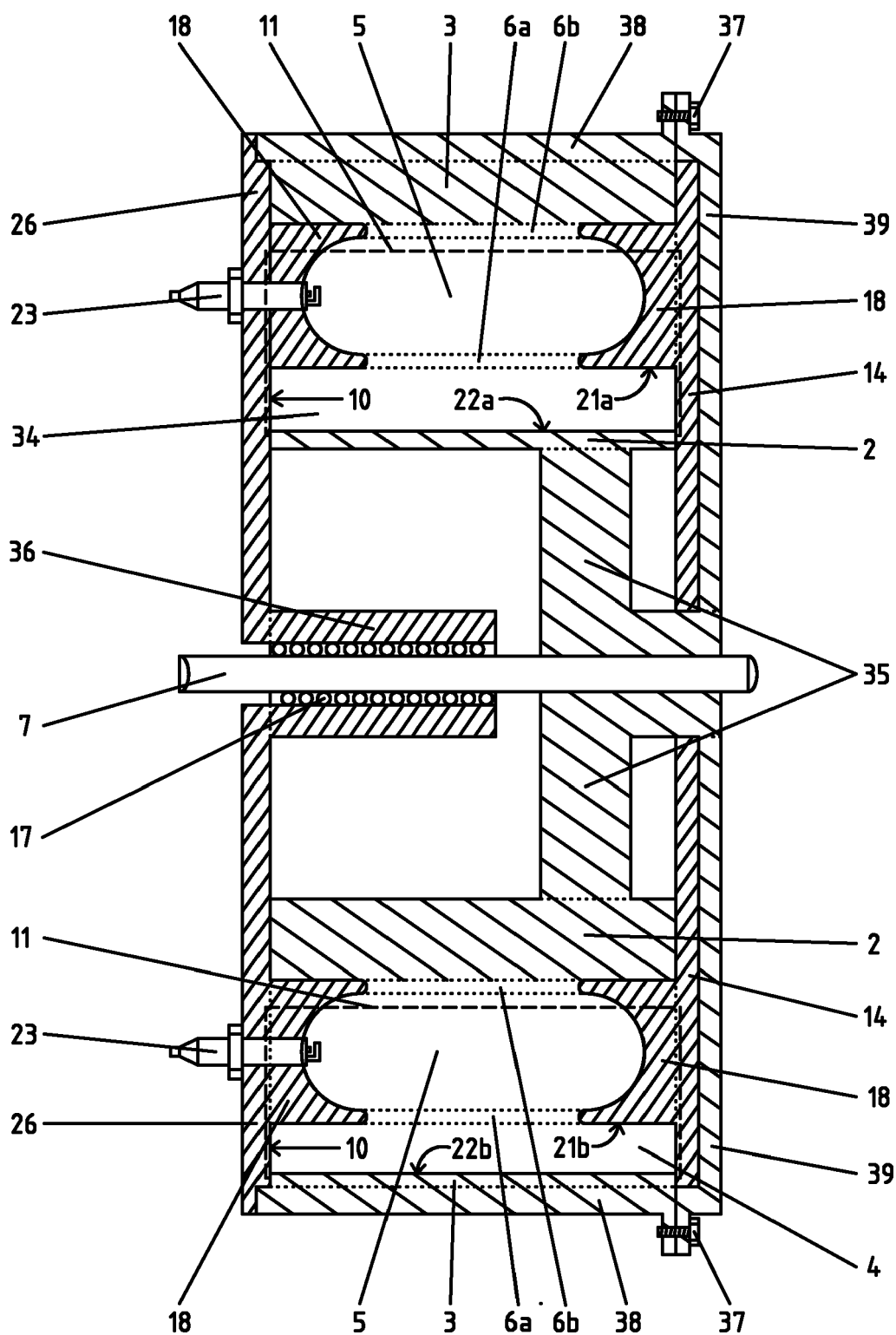


Fig. 3

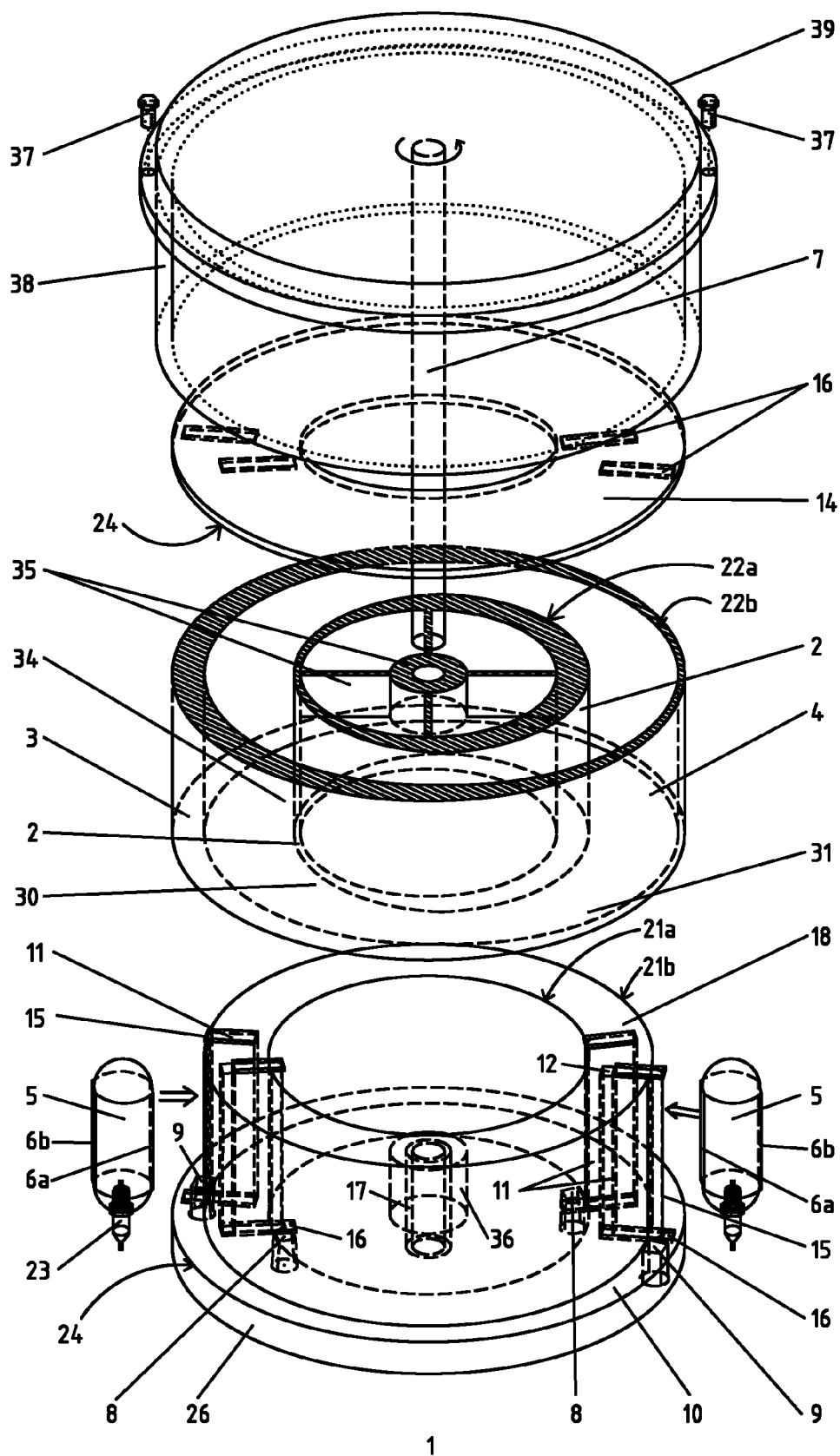


Fig. 4a

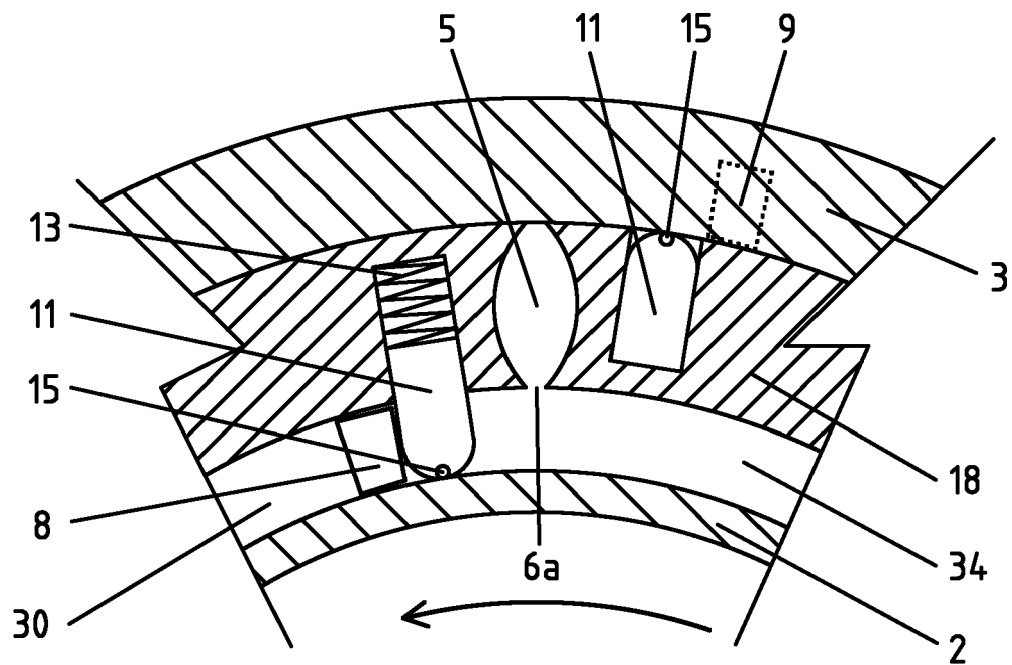


Fig. 4b

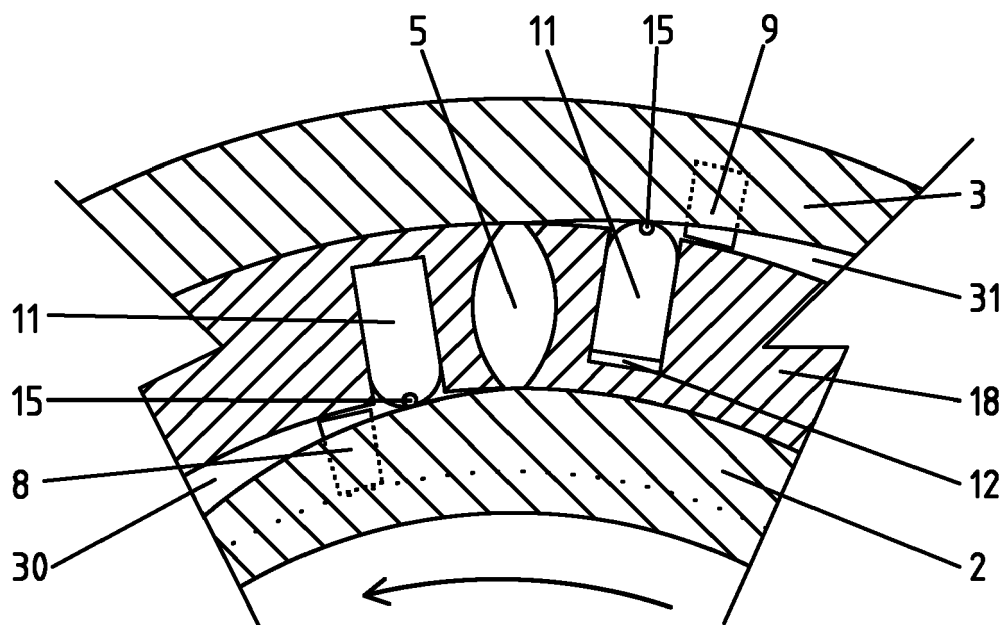


Fig. 4c

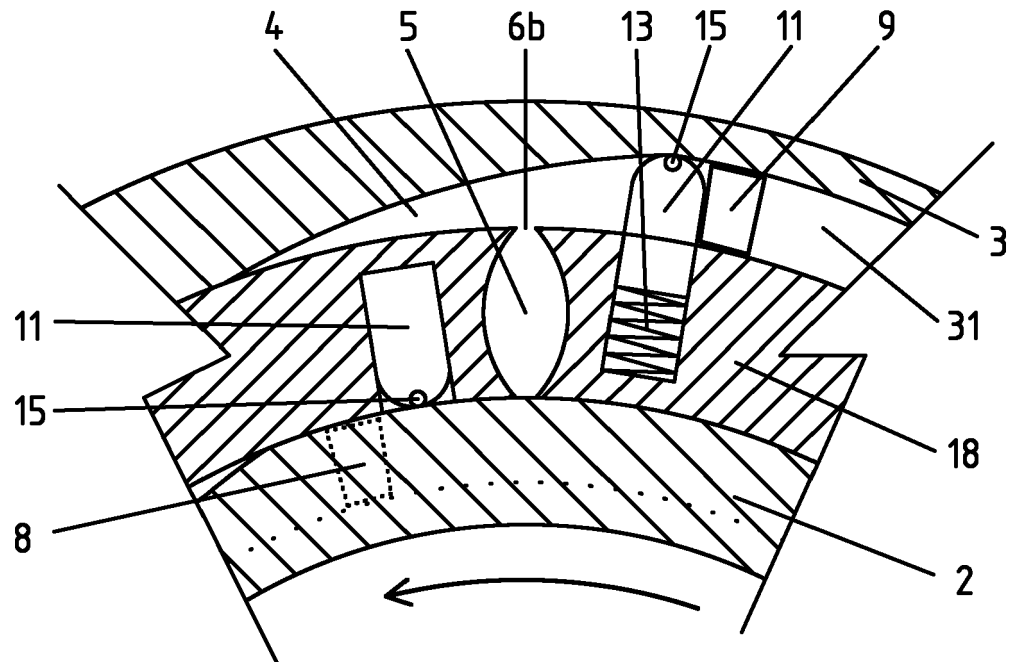


Fig. 4d

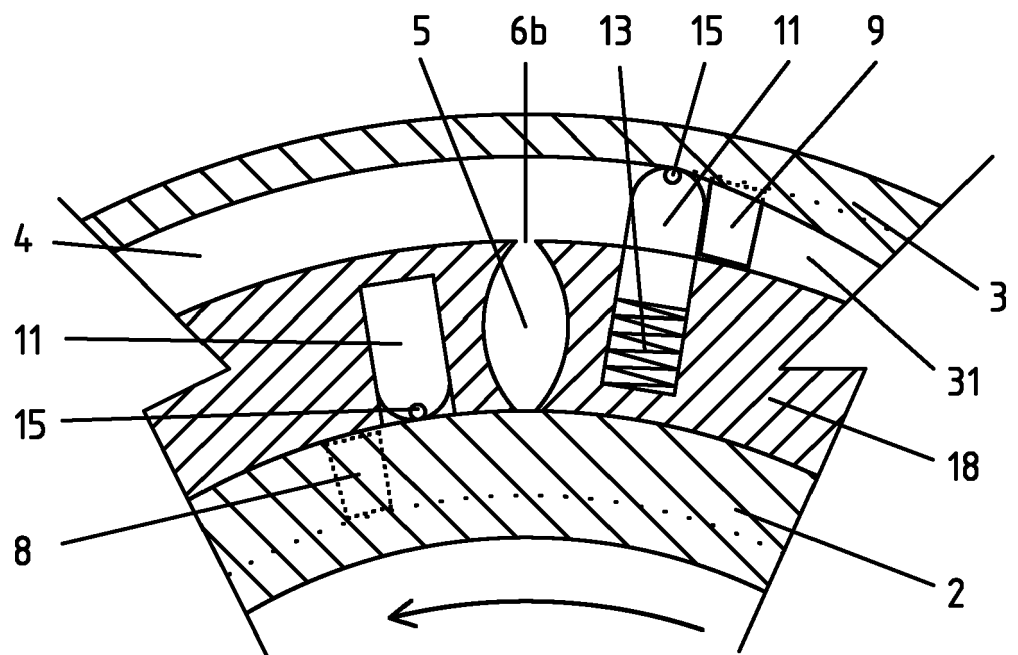


Fig. 5

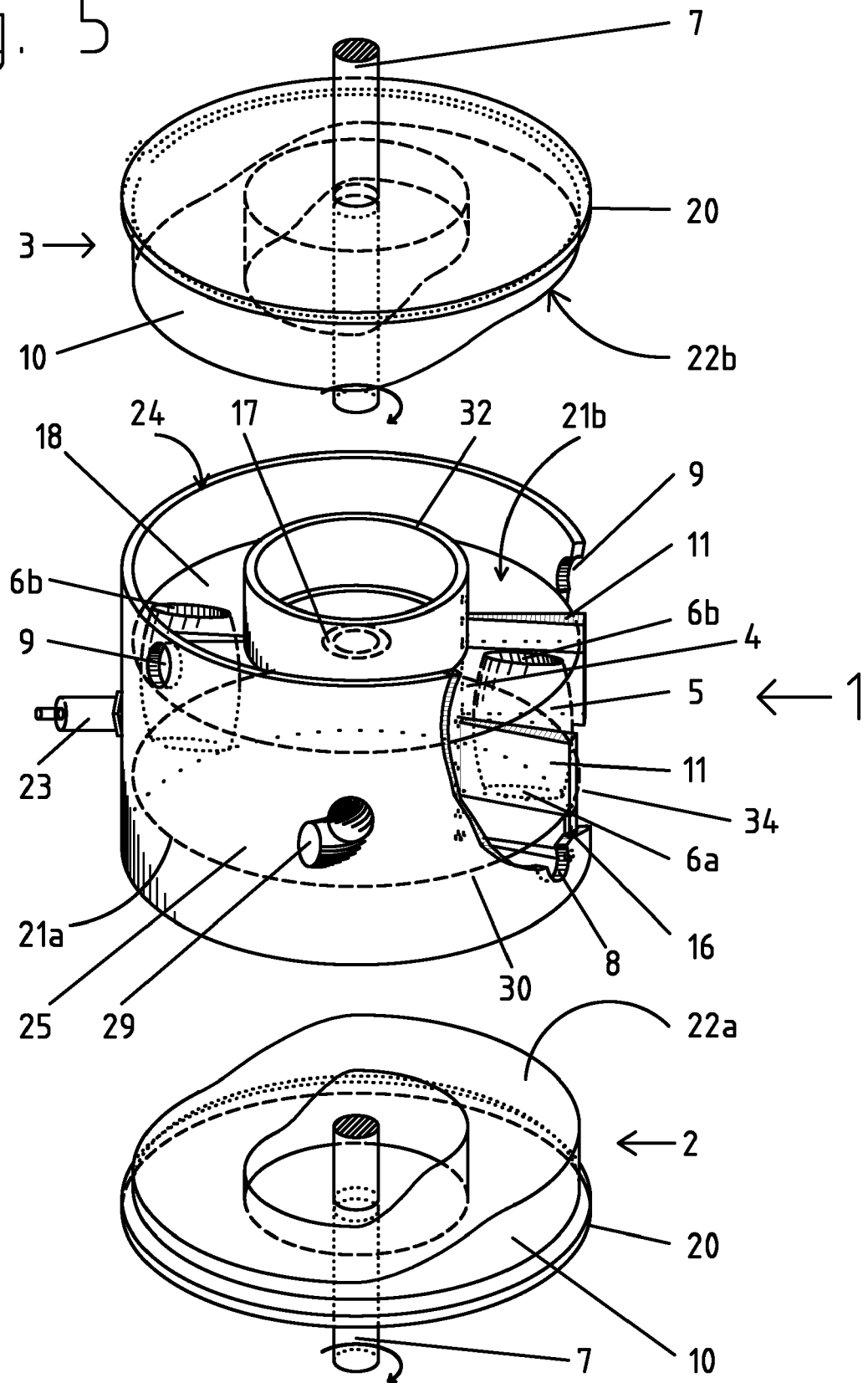


Fig. 6

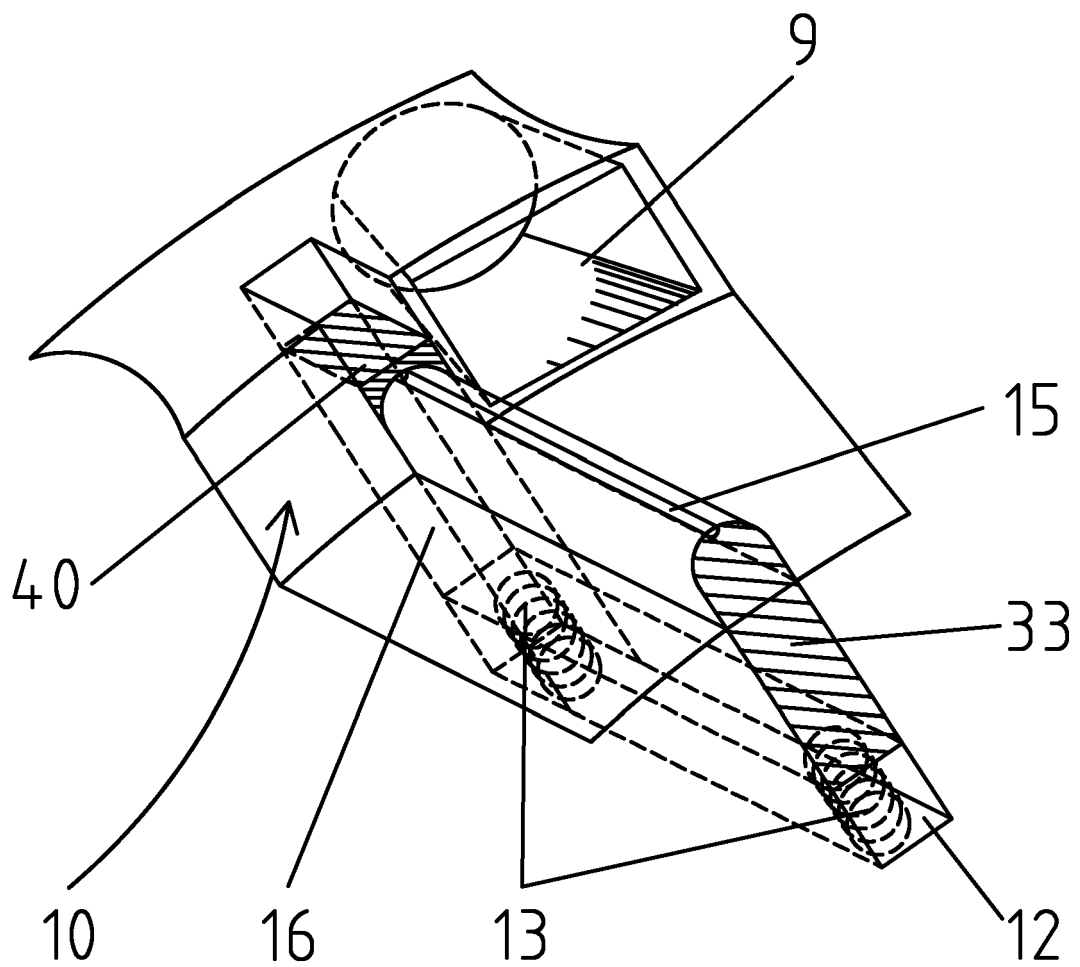


Fig. 7

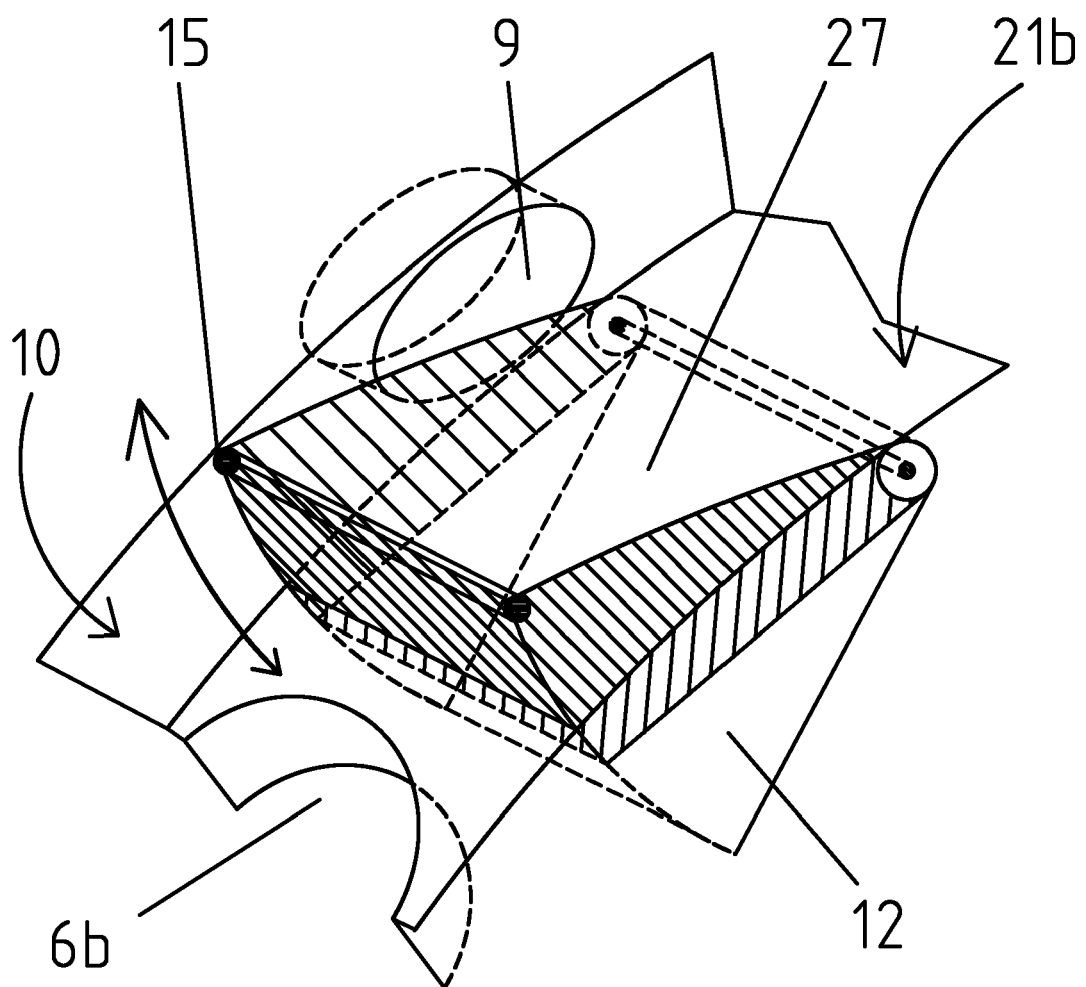


Fig. 8

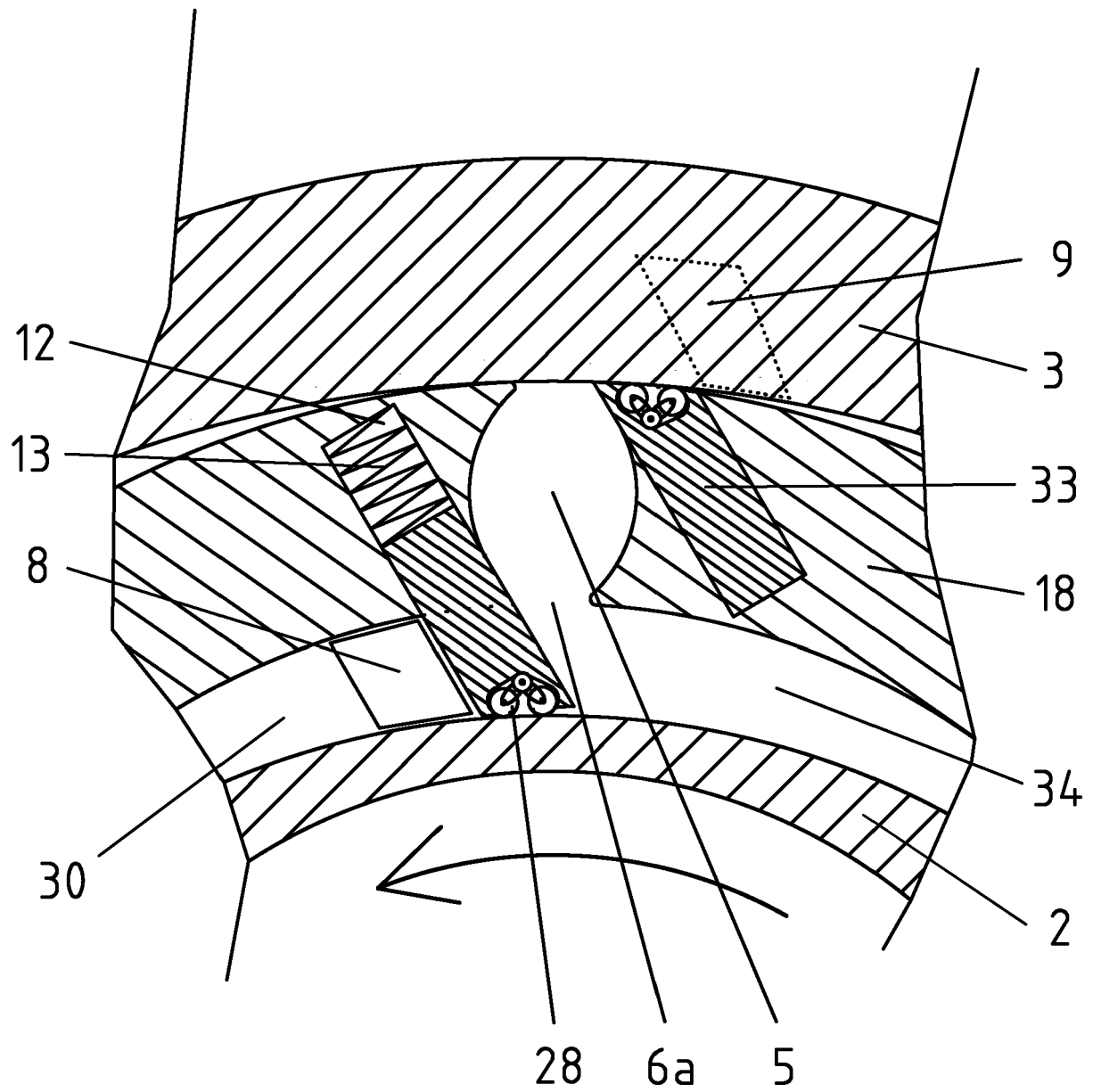


Fig. 9

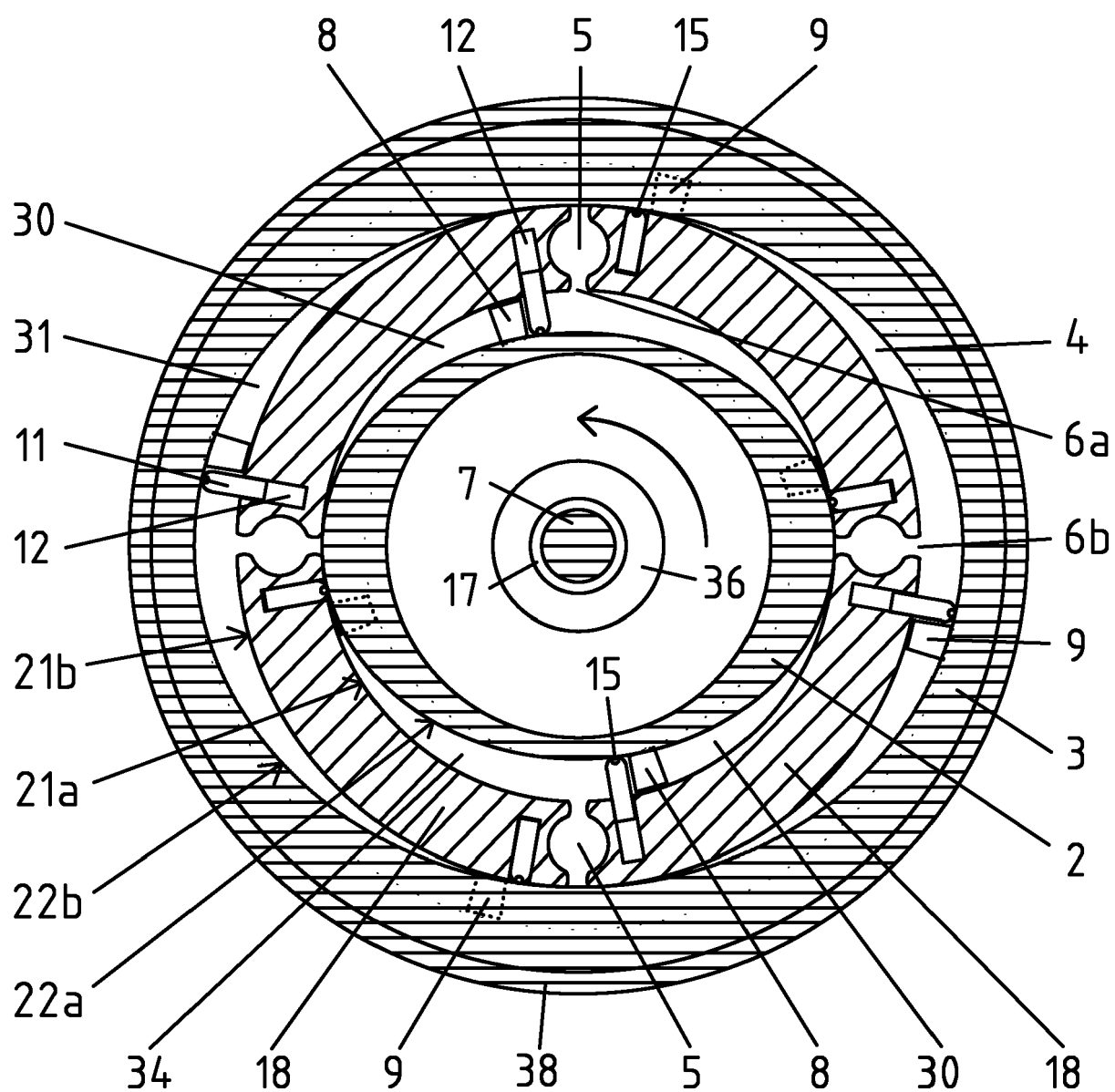


Fig. 10

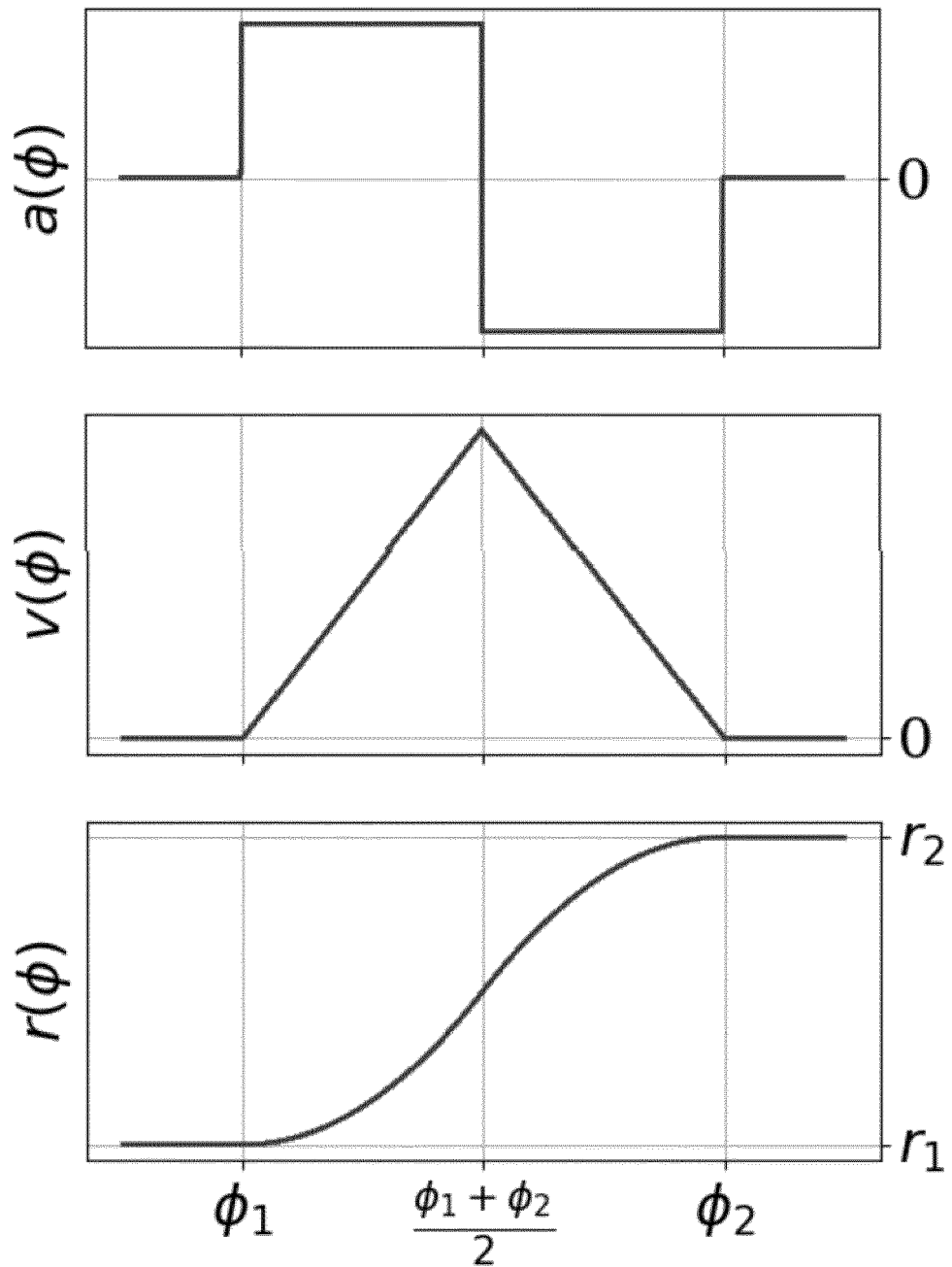
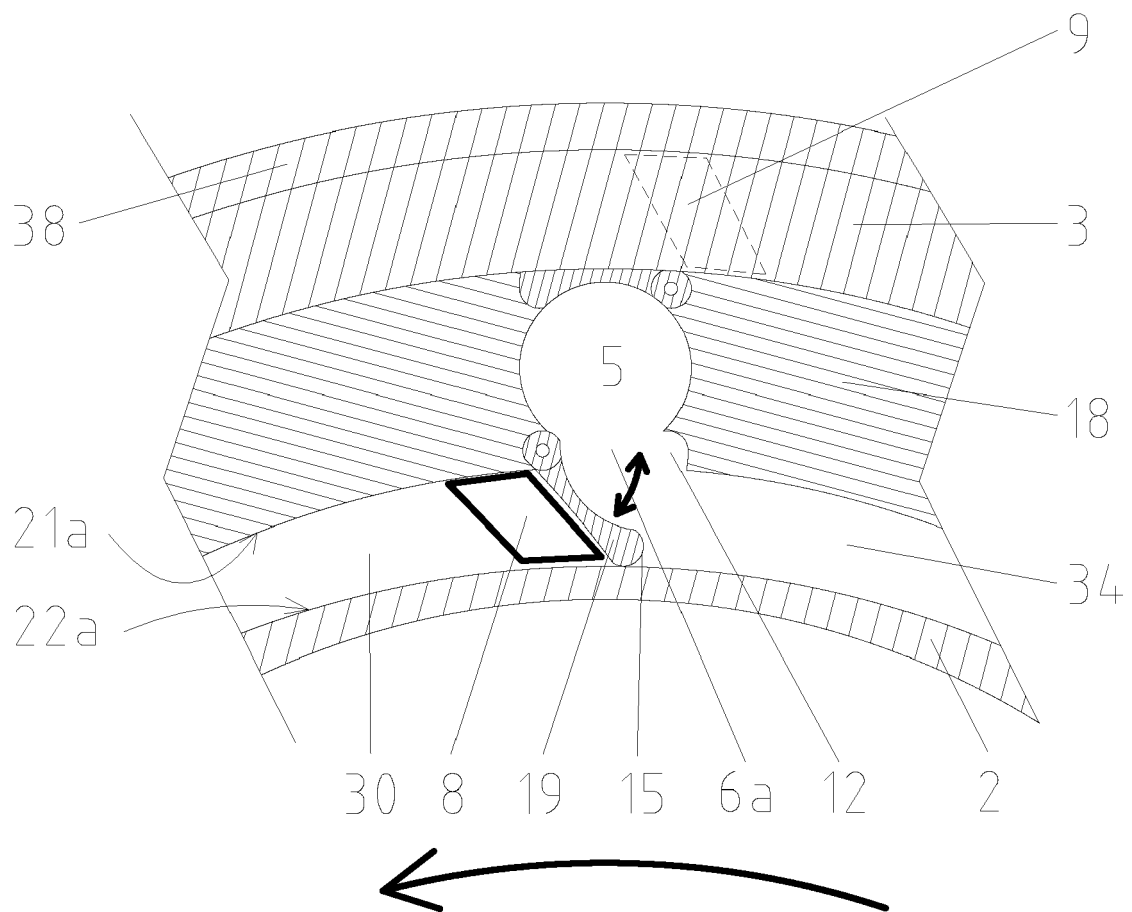


Fig. 11





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 02 0372

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2011/083637 A1 (BLOUNT DAVID H [US]) 14. April 2011 (2011-04-14) * Absatz [0051] - Absatz [0053]; Abbildungen 10,11,12 *	1-14	INV. F01C1/46
A	WO 2006/073262 A1 (KIM KI-TAE [KR]) 13. Juli 2006 (2006-07-13) * Absatz [0027] - Absatz [0032]; Abbildung 5 *	1-14	
A	GB 2 452 572 A (ODEH ISSA ADEL [IL]) 11. März 2009 (2009-03-11) * Seite 5, Zeile 23 - Seite 7, Zeile 14; Abbildungen 1,4 *	1-14	
A	US 5 681 157 A (WEN-MING LIU [TW]) 28. Oktober 1997 (1997-10-28) * Spalte 3, Zeile 8 - Spalte 4, Zeile 63; Abbildungen 3a,4 *	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01C F04C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Januar 2021	Prüfer Grilli, Muzio
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 02 0372

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-01-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2011083637 A1	14-04-2011	KEINE	

15	WO 2006073262 A1	13-07-2006	KEINE	

	GB 2452572 A	11-03-2009	KEINE	

20	US 5681157 A	28-10-1997	KEINE	

25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0085427 A1 [0002] [0205]
- WO 2006073262 A1 [0003]
- GB 2452572 A1 [0004]
- US 5681157 A [0005]