

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Januar 2011 (27.01.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/009454 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2010/000877
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
26. Juli 2010 (26.07.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 034 736.4 24. Juli 2009 (24.07.2009) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **GETAS GESELLSCHAFT FÜR THERMODYNAMISCHE ANTRIEBSSYSTEME MBH** [DE/DE]; Roonstr.11, 52351 Düren (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** **ROHS, Ulrich** [DE/DE]; Roonstr. 11, 52351 Düren (DE). **VOIGT, Dieter** [DE/DE]; Weingarten 10, 52074 Aachen (DE).
- (74) **Anwalt:** **REUTHER, Martin**; Zehnthofstr. 9, 52349 Düren (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL,

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

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

Veröffentlicht:

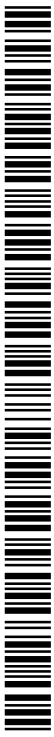
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** AXIAL-PISTON MOTOR, METHOD FOR OPERATING AN AXIAL PISTON MOTOR, AND METHOD FOR PRODUCING A HEAT EXCHANGER OF AN AXIAL-PISTON MOTOR

(54) **Bezeichnung :** AXIALKOLBENMOTOR, VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES AXIALKOLBENMOTORS SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES WÄRMEÜBERTRAGERS EINES AXIALKOLBENMOTORS

(57) **Abstract:** The aim of the invention is to improve the efficiency of an axial-piston motor. To this end, the axial-piston motor comprises at least one compressor cylinder, at least one working cylinder and at least one pressure line guiding the compressed fuel from the compressor cylinder to the working cylinder. A working piston comprising a working rod is provided in the working cylinder, and a compressor piston comprising a compressor rod is provided in the compressor cylinder. The axial-piston motor is characterised in that it at least one of the two rods comprises transverse stiffeners.

(57) **Zusammenfassung:** Um den Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors zu verbessern, schlägt die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, vor, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist und wobei sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass wenigstens eines der beiden Pleuel Querversteifungen aufweist.



WO 2011/009454 A2

Axialkolbenmotor, Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors sowie Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers eines Axialkolbenmotors

[01] Die Erfindung betrifft einerseits einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist.

[02] Andererseits betrifft die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird.

[03] Darüber hinaus betrifft die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei gegebenenfalls der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird.

[04] Ferner betrifft die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteil und mit einem Ölkreislauf zur Schmierung.

[05] Weiterhin betrifft die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe und gegebenenfalls mit wenigstens einem Wärmeübertrager, wobei der wärmeaufneh-

angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist.

[06] Auch betrifft die Erfindung einen Axialkolbenmotor mit einer Brennmittelzufuhr und einer Abgasabfuhr, die wärmeübertragend miteinander gekoppelt sind.

5 [07] Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers eines Axialkolbenmotors, welcher eine wenigstens einen Zylinder umfassende Verdichterstufe und eine wenigstens einen Zylinder umfassende Expanderstufe sowie wenigstens eine Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe aufweist.

10 [08] Axialkolbenmotoren sind hinlänglich aus dem Stand der Technik bekannt und kennzeichnen sich als energiewandelnde Maschinen, welche ausgangsseitig mechanische Rotationsenergie unter Zuhilfenahme wenigstens eines Kolbens bereitstellen, wobei der Kolben eine lineare Schwingbewegung durchführt, deren Ausrichtung im Wesentlichen koaxial zu der Drehachse der Rotationsenergie ausgerichtet ist.

15 [09] Neben Axialkolbenmotoren, die beispielsweise nur mit Druckluft betrieben werden, sind auch Axialkolbenmotoren bekannt, denen Brennmittel zugeführt wird. Dieses Brennmittel kann mehrkomponentig, beispielsweise aus einem Kraftstoff und aus Luft, ausgebildet sein, wobei die Komponenten gemeinsam oder getrennt einer oder mehreren Brennkammern zugeführt werden. In vorliegendem Fall bezeichnet somit der Begriff „Brennmittel“ jegliches Material, welches an der Verbrennung teilnimmt oder mit den an der Verbrennung teilnehmenden Komponenten mitgeführt wird und den Axialkolbenmotor durchströmt. Das Brennmittel umfasst dann zumindest Brenn- bzw. Kraftstoff, wobei der Begriff „Kraftstoff“ in vorliegendem
20 Zusammenhang Brennstoff also jegliches Material beschreibt, welches über eine chemische oder sonstige Reaktion, insbesondere über eine Redoxreaktion, exotherm reagiert. Das Brennmittel kann darüber hinaus noch Komponenten, wie beispielsweise Luft aufweisen, die Materialien für die Reaktion des Kraftstoffs bereitstellen. Ebenso kann das Brennmittel weitere Komponenten, wie chemische Zusätze oder katalytisch wirkende Stoffe, enthalten.
25

[10] Insbesondere können Axialkolbenmotoren auch unter dem Prinzip der inneren kontinuierlichen Verbrennung (ikV) betrieben werden, nach welchem Brennmittel, also beispielsweise Kraftstoff und Luft, kontinuierlich einer Brennkammer oder mehreren Brennkammern zugeführt werden.

5 [11] Axialkolbenmotoren können darüber hinaus einerseits mit rotierenden Kolben, und entsprechend rotierenden Zylindern, arbeiten, die sukzessive an einer Brennkammer vorbeigeführt werden. Andererseits können Axialkolbenmotoren stationäre Zylinder aufweisen, wobei das Arbeitsmedium dann sukzessive auf die Zylinder entsprechend der gewünschten Belastungsreihenfolge verteilt wird.

10 [12] Beispielsweise sind derartige stationäre Zylinder aufweisende ikV-Axialkolbenmotoren aus der EP 1 035 310 A2 und der WO 2009/062473 A2 bekannt, wobei in der EP 1 035 310 A2 ein Axialkolbenmotor offenbart ist, bei welchem die Brennmittelzufuhr und die Abgasabfuhr wärmetauschend miteinander gekoppelt sind.

15 [13] Die in der EP 1 035 310 A2 und der WO 2009/062473 A2 offenbarten Axialkolbenmotoren weisen darüber hinaus eine Trennung zwischen Arbeitszylindern und den entsprechenden Arbeitskolben und Verdichterzylindern und den entsprechenden Verdichterkolben auf; wobei die Verdichterzylinder auf der den Arbeitszylindern abgewandten Seite des Axialkolbenmotors vorgesehen sind. Insofern kann derartigen Axialkolbenmotoren eine Verdichter- und eine Arbeitsseite zugeordnet werden.

20 [14] Es versteht sich, dass die Begriffe „Arbeitszylinder“, „Arbeitskolben“ und „Arbeitsseite“ synonym verwendet werden zu den Begriffen „Expansionszylinder“, „Expansionskolben“ und „Expansionsseite“ bzw. „Expanderzylinder“, „Expanderkolben“ und „Expanderseite“ sowie zu den Begriffen „Expansionsstufe“ bzw. „Expanderstufe“, wobei eine „Expanderstufe“ bzw. 25 „Expansionsstufe“ die Gesamtheit aller hierin befindlicher „Expansionszylinder“ bzw. „Expanderzylinder“ bezeichnet.

[15] Es ist Aufgabe vorliegender Erfindung, den Wirkungsgrad eines Axialkolbenmotors zu verbessern.

[16] Diese Aufgabe wird durch einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und
5 in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, gelöst, bei welchem wenigstens eines der beiden Pleuel Querversteifungen aufweist.

[17] Sind derartige Querversteifungen wenigstens an einem der beiden Pleuel vorgesehen, kann der Pleuel insgesamt mit wesentlich weniger Masse ausgebildet werden, wodurch dieser Pleuel vorteilhafter Weise gewichtsmäßig leichter ausgestaltet werden kann. Insofern müssen
10 hinsichtlich des mit solchen Querversteifungen ausgestatteten Pleuels weniger Masse bewegt bzw. beschleunigt werden, wodurch der vorliegende Axialkolbenmotor effektiver betrieben werden kann. Hierdurch verbessert sich vorteilhafter Weise der Gesamtwirkungsgrad des Axialkolbenmotors.

[18] Querversteifungen können insbesondere in der Leichtbauweise eingesetzt werden, um
15 Bauteile trotz Materialreduzierung bzw. -einsparung ausreichend steif und stabil gestalten zu können. Die Bezeichnung „quer“ ist vorliegend dann verwendet, sobald eine Haupterstreckung der Versteifung eine Komponente senkrecht zur Haupterstreckungsrichtung beispielsweise des Pleuels bzw. senkrecht zur Hauptachse – in Axialrichtung gesehen – des Axialkolbenmotors aufweist.

[19] Auch wird die Aufgabe der Erfindung insbesondere von einem Axialkolbenmotor mit
20 wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel
25 vorgesehen ist, und der Arbeitskolben Querversteifungen aufweist.

[20] Auch der Arbeitskolben kann durch das Vorsehen geeigneter Querversteifungen gewichtsmäßig wesentlich leichter gebaut werden, sodass mit dem Arbeitskolben selbst weniger Masse an dem Axialkolbenmotor bewegt werden muss, wodurch sich der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors nochmals verbessern lässt.

[21] In diesem Zusammenhang wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem gattungsgemäßen Axialkolbenmotor gelöst, bei welchem kumulativ oder alternativ der Verdichterkolben Querversteifungen aufweist. Der Axialkolbenmotor muss auch dann weniger interne Arbeit verrichten, wenn der Verdichterkolben auf Grund von Querversteifungen mit einer geringeren
5 Masse bereitgestellt werden kann.

[22] Um die Aufgabe der Erfindung zu lösen, ist des Weiteren ein Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, vorgeschlagen, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben
10 mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, und der Axialkolbenmotor sich speziell dadurch auszeichnet, dass wenigstens eines der beiden Pleuel aus Aluminium ist.

[23] Auf Grund der Verwendung von Aluminium oder einer Legierung hiervon ist es möglich, die Masse bewegter Bauteile vorteilhaft zu reduzieren, wodurch der Axialkolbenmotor
15 zusätzlich effektiver arbeiten kann. Insofern ist hierdurch auch eine Steigerung des Wirkungsgrads am Axialkolbenmotor erzielt. Es versteht sich, dass statt Aluminium auch jeder andere Leichtbaustoff vorteilhaft zur Anwendung kommen kann, solange er die Betriebstemperaturen oder sonstigen Randbedingungen aushält. Gegebenenfalls können auch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise thermische Isolierungen an geeigneter Stelle zur Anwendung kommen, um die
20 Verwendung von Leichtbaustoffen zu ermöglichen.

[24] Es versteht sich, dass auch weitere insbesondere bewegte Bauteile des Axialkolbenmotors aus einem Leichtbauwerkstoff hergestellt werden können, sofern sie dann immer noch eine ausreichende Festigkeit und/oder Steifigkeiten besitzen.

[25] Insofern können auch die Kolben des Axialkolbenmotors bis auf ihre heißen Bereiche,
25 welche unmittelbar mit heißen Medien in Kontakt treten können, mittels Aluminium oder einer Legierung hiervon gestaltet sein. Der Begriff „heißer Bereich“ beschreibt in vorliegendem Zusammenhang insbesondere Brennmittel zugewandte Bereiche eines Kolbens, welche thermisch kritisch belastet werden könnten.

- [26] Angesichtes dessen wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichtungszyylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist und wobei sich der Axialkolbenmotor durch einen Arbeitskolben aus Aluminium auszeichnet, der arbeitszylinderseitig einen Brennschutz, vorzugsweise aus Eisen, aufweist.
- [27] Hierdurch kann eine sehr leichte Bauweise des Arbeitskolbens – bis auf dessen heißen Bereich – gewährleistet werden, wodurch der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors weiter verbessert werden kann.
- [28] Gegebenenfalls kann dieser Brennschutz auch mit anderen Werkstoffen, beispielsweise mit einer Keramikbeschichtung, realisiert werden. Auch Arbeitskolben aus einem Keramikwerkstoff wären hierbei denkbar.
- [29] Unabhängig von den übrigen Merkmalen der Erfindung wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung auch von einem gattungsgemäßen Axialkolbenmotor gelöst, der sich durch einen Verdichterkolben aus Aluminium auszeichnet, da hierdurch die vorstehend beschriebene Leichtbauweise des Axialkolbenmotors entsprechend vorteilhaft weitergebildet werden kann.
- [30] Gegebenenfalls muss auch am Verdichterkolben verdichterzylinderseitig ein Brennschutz vorgesehen werden, wenn bereits am Verdichterzylinder mit heißen Brennmitteln gearbeitet wird. Auch hier kann der Brennschutz aus einem wärmeresistenteren Material bestehen. Beispielsweise ist der Brennschutz aus Eisen oder aus einer Keramik hergestellt, wobei vorliegend sicherlich auch Verdichterkolben aus einem Keramikwerkstoff Verwendung finden könnten.
- [31] Somit kann hinsichtlich der hier beschriebenen und verwendeten Arbeitskolben und Verdichterkolben der Kolbenboden vorteilhaft aus Eisen oder Stahl und der Kolbenschaft vorteilhaft aus Aluminium oder aus einer Legierung hiervon bestehen.

[32] Derart gewichtsreduzierte bzw. gewichtsoptimierte Kolben sind aus dem eingangs geschilderten relevanten Stand der Technik nicht bekannt, sodass aus diesem relevanten Stand der Technik die vorliegende vorteilhafte Weiterentwicklung nicht offensichtlich entnehmbar ist, obwohl es Aufgabe der Erfindungen des eingangs geschilderten Standes der Technik war, Axialkolbenmotoren hinsichtlich ihres Wirkungsgrads weiter zu verbessern.

[33] Eine alternative Lösung der Aufgabe vorliegender Erfindung schlägt einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, vor, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist und wobei sowohl der Arbeitspleuel und der Verdichterpleuel als auch Arbeits- und Verdichterkolben aus Stahl gebildet sind.

[34] Sind beiden Kolben aus Stahl gefertigt, sind die Kolben einerseits besonders temperaturbeständig, und es brauchen andererseits unterschiedliche Materialeigenschaften an einem einzigen Bauteil nicht berücksichtigt zu werden. Der einstückige Aufbau der Kolben ist zudem kostengünstiger, wobei sich die Masse der Kolben auf Grund der höheren Festigkeit des Stahls und durch weitere konstruktive Maßnahmen, beispielsweise die vorstehend genannten Querversteifungen, auf ein Minimum reduzieren lassen. Hierdurch können auch Gewichtsnachteile gegenüber einem Aluminiumkolben relativiert werden. Insbesondere ist auch möglich, die jeweiligen Pleuel ebenfalls aus Stahl auszugestalten, so dass die Gesamtanordnung aus Arbeitskolben und Arbeitspleuel sowie aus Verdichterpleuel und Verdichterkolben aus identischem Material und ggf. sogar aus einem Stück gebildet sein kann. Ersteres erleichtert ggf. ein Verbinden der jeweiligen Baugruppen, da unterschiedliche Materialeigenschaften nicht auftreten und die Verbindung beeinträchtigen können, während letzteres naturgemäß etwaige Verbindungsproblematiken erst gar nicht auftreten lässt.

[35] Da verdichterkolbenseitig in der Regel andere Kräfte wirken als arbeitskolbenseitig, kann insbesondere das Pleuel des Verdichterkolbens gegenüber dem Pleuel des Arbeitskolbens gewichtsreduzierter ausgestaltet sein. Insofern wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem

Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist und wobei der Verdichterpleuel leichter als der Arbeitspleuel ausgebildet ist. Insbesondere der Arbeitskolben kann hierbei auch anders als der
5 Verdichterkolben ausgebildet sein. Beispielsweise ist der Verdichterkolben leichter ausgebildet, da dieser nicht so großen Kräften hinsichtlich eines Arbeitsmediums des Axialkolbenmotors ausgesetzt ist. Somit kann der Axialkolbenmotor sehr genau an seine spezifischen Belastungen angepasst und entsprechend optimiert werden.

[36] Des Weiteren wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem gattungsgemäßen Axialkolbenmotor gelöst, bei welchem ein Abtriebslager, welches Energie von wenigstens einem der
10 Pleuel auf eine Abtriebswelle überträgt, verdichterpleuelseitig schwächer als arbeitspleuelseitig ausgebildet ist. Da verdichterkolbenseitig andere Kräfte – meistens geringere Kräfte – als arbeitskolbenseitig auf den jeweiligen Pleuel wirken, kann das Pleuel verdichterseitig hinsichtlich seines Gewichtes vorteilhafter Weise leichter ausgebildet werden. Dies kann jedoch insbesondere
15 auch von dem verwendeten Material abhängig aber auch eine Frage der Konstruktion oder der Massenverhältnisse sein. Sind die Arbeitspleuel und Verdichterpleuel einstückig ausgebildet, können sie sehr kostengünstig hergestellt werden. Vorteilhaft ist es, wenn die Arbeitspleuel und Verdichterpleuel koaxial zueinander ausgebildet sind. Hierdurch können besonders günstige Belastungsverhältnisse insbesondere auch an einem Gehäuse des Axialkolbenmotors geschaffen
20 werden.

[37] Die vorliegende Aufgabe wird auch unabhängig von den übrigen Merkmalen der Erfindung von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes
25 Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird und wobei der Steuerkolben brennkammerseitig aus Eisen oder Stahl gebildet ist. Da auch der Steuerkolben mit sehr heißen Arbeitsmedien bzw. Brennmitteln des Axialkolbenmotors in Kontakt kommt, ist es vorteilhaft, wenn zumindest diesbezügliche Bereiche des Steuerkolbens hitzebeständig ausgestaltet sind. Insofern kann eben-
30 so anstelle von Eisen oder Stahl jedes andere hitzebeständige Material, wie beispielsweise Keramik, zur Anwendung kommen. Vorteilhafter Weise ist der Steuerkolben im Übrigen aus Alu-

minium oder aus einer Legierung hiervon gebildet, sodass der Steuerkolben besonders leicht ist und hierdurch extrem kurze Steuerzeiten realisiert werden können.

[38] Alternativ hierzu kann der gesamte Steuerkolben aus Eisen oder Stahl gebildet sein, da die Steuerkolben in der Regel meist klein bauen und somit wenig Masse aufweisen. Dies ist insbesondere dann eine gute Lösung, wenn extrem kurze Steuerzeiten keine vordergründige Rolle spielen oder – gerade wegen der niedrigen Gewichts der Steuerkolben – trotzdem realisiert werden können.

[39] Um die Aufgabe der Erfindung weiterhin zu lösen, wird alternativ bzw. kumulativ ein Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichtungszyylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, vorgeschlagen, welcher sich dadurch auszeichnet, dass wenigstens eine brennkammerseitige Oberfläche des Steuerkolbens verspiegelt ist. Durch eine derartige Verspiegelung ist es möglich, die Wärmebelastung der jeweiligen Baugruppe insbesondere durch die Reflektion der wärmebelastenden Strahlung in vorteilhafter Weise zu reduzieren.

[40] Alternativ bzw. kumulativ hierzu kann dementsprechend die Aufgabe der Erfindung durch einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichtungszyylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, gelöst werden, welcher sich dadurch auszeichnet, dass die Brennkammer einen Brennkammerboden aus verspiegelmtem Metall aufweist.

[41] Die Verspiegelung einer metallenen Oberfläche bringt darüber hinaus den Vorteil, dass der durch die hohe Temperaturdifferenz zwischen dem verbrannten Brennmittel und der metallenen Oberfläche entstehende Wandwärmestrom, zumindest für den durch Wärmestrahlung bewirkten Wandwärmestrom, verringert werden kann. Ein großer Anteil an Wirkungsgradeinbußen in einem Verbrennungsmotor entsteht durch diesen genannten Wandwärmestrom, weswegen durch eine Verringerung des Wandwärmestromes eine effiziente Möglichkeit gegeben

ist, den thermodynamischen Wirkungsgrad des Axialkolbenmotor durch die vorgeschlagenen Lösungen der Erfindung zu steigern.

[42] Es versteht sich, dass einerseits auch nichtmetallische Oberflächen durch eine Verspiegelung einen Vorteil im thermodynamischen Wirkungsgrad erbringen können, und das
5 andererseits dieser Vorteil im thermodynamischen Wirkungsgrad kumulativ oder alternativ dadurch erreicht werden kann, dass jedes mit Brennmittel in Kontakt stehende Bauteil des Axialkolbenmotors, sofern die Temperatur des Brennmittels höher ist als die Wandtemperatur, verspiegelt wird.

[43] Weiterhin versteht es sich, dass jede andere Oberflächenbeschichtung, welche in der
10 Lage ist den spektralen Reflexionsgrad der Bauteiloberflächen zu erhöhen zum Einsatz kommen kann. Selbstverständlich ist ferner jegliche Oberflächenbeschichtung denkbar, welche alternativ oder kumulativ hierzu den Wärmeübergangskoeffizienten einer Bauteiloberfläche verringert, um den Anteil an thermodynamischen Verlusten durch Konvektion zu verringern.

[44] Des Weiteren wird, um die Aufgabe der Erfindung zu lösen, alternativ oder kumulativ
15 ein Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteil und mit einem Ölkreislauf zur Schmierung vorgeschlagen, wobei der Ölkreislauf einen Motorölkreislauf und einen Druckölkreislauf mit einem vom Mo-
20 torölkreislauf verschiedenen Druckniveau aufweist. Hierdurch wird der Vorteil umgesetzt, dass in einem jeweiligen Ölkreislauf mit einem verschiedenen Druckniveau die Ölpumpe dieses Kreislaufes, beispielsweise eine Druckölpumpe des Druckölkreislaufes, lediglich den zur Förderung des Öles erforderlichen Gegendruck aufbringen muss und der zur Erreichung eines in diesem Kreislauf aus sonstigen Gründen möglicherweise erforderlichen, den zur Förderung des
25 Öles übersteigenden höheren Druck nicht durch die Druckölpumpe aufgebracht werden muss. Dadurch, dass der Druckölkreislauf Bauteile aufweisen kann, welche gegen einen in der Brennkammer befindlichen Brennkammerdruck arbeiten, ist es entsprechend vorteilhaft, wenn das Druckniveau des Druckölkreislaufes dem Brennkammerdruck entspricht.

[45] Alternativ bzw. kumulativ hierzu kann es auch von Vorteil sein, dass das Druckniveau des Druckölkreislaufes einem Verdichterdruck entspricht. Durch ein dem Brennkammerdruck bzw. dem Verdichterdruck entsprechendes Druckniveau des Druckölkreislaufes kann eine an einem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteil, beispielsweise an einem Steuerkolben, wirkende Gaskraft pneumatisch weitgehend kompensiert werden. Die Aufgabe, einen Axialkolbenmotor hinsichtlich seines Wirkungsgrades weiter zu verbessern, wird insofern dadurch gelöst, dass eine am Steuerkolben wirkende Kolbenarbeit minimiert und somit die am Axialkolbenmotor abgegebene Arbeit bzw. Leistung bei gleichem Brennstoffeinsatz maximiert wird.

[46] In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung, „das Druckniveau entspricht einem Druck“, auch einen Druckunterschied bis zu 40% zwischen dem Druckniveau und dem Druck, sei es der Verdichterdruck oder sei es der Brennkammerdruck, tolerierend erlaubt. Vorzugsweise jedoch soll eine Druckdifferenz von maximal 7 bar durch die Bezeichnung, „das Druckniveau entspricht einem Druck“ erfasst werden. Derartige Druckunterschiede können noch ohne zu große Wirkungsgradverluste von Dichtungen abgefangen werden, die auch höheren Temperaturen standhalten.

[47] Um bei einer variablen Leistungsabgabe des Axialkolbenmotors diesem wirkungsgradverbessernden Vorteil nicht entgegen zu stehen, wird weiterhin vorgeschlagen, dass der Druckölkreislauf bei einer Vollast des Axialkolbenmotors ein Druckniveau größer als 20 bar aufweist. Kumulativ bzw. alternativ wird vorgeschlagen, dass der Druckölkreislauf bei einer Teillast des Axialkolbenmotors ein Druckniveau zwischen 5 bar und 20 bar aufweist. Dieses gewährleistet bei einem großen Teil aller Betriebssituationen ein ausgewogenes Druckverhältnis, durch welches der Wirkungsgrad optimiert wird. Alternativ bzw. kumulativ hierzu wird weiterhin vorgeschlagen, dass der Druckölkreislauf bei einem Leerlauf des Axialkolbenmotors und/oder bei einem Stillstand des Axialkolbenmotors ein Druckniveau unter 5 bar aufweist. Dieses ermöglicht insbesondere bei diesen Betriebszuständen eine geringe Belastung der entsprechenden Dichtungen, so dass insbesondere auch etwaige Leckströme, die über einen längeren Zeitraum wirksam werden könnten, keine wesentlichen störenden Einflüsse haben. In einem lastabhängigen und instationären Betrieb des Axialkolbenmotors kann durch diese Maßnahme insbesondere der Vorteil umgesetzt werden, dass eine Kompensation des Brennkammerdruckes an einem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteil stets dem Brennkammerdruck bzw. dem Lastpunkt des Axialkolbenmotors entspricht. Ein unter verschiedenen Betriebsbedingungen

optimierter Wirkungsgrad wird hierdurch sichergestellt, indem die zur Kompensation des Brennkammerdrucks benötigte Gaskraft an den mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteilen bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt wird. Eine stets höher ausfallende Gaskraft führt zu einer Überkompensation des Brennkammerdruckes, wodurch wiederum eine nicht wirkungsgradgünstige Verdichterleistung zur Erzeugung des Kompensationsdruckes an der Verdichterstufe abgerufen wird.

[48] Mit „Leerlauf“ ist an dieser Stelle der Betriebszustand gemeint, bei welchem die indizierte Leistung des Axialkolbenmotors im Wesentlichen der Reibleistung des Axialkolbenmotors entspricht, also sich die effektive Leistung zu null ergibt.

10 [49] Die Aufgabe der Erfindung, einen Axialkolbenmotor hinsichtlich seines Wirkungsgrades, durch die Trennung des Ölkreislaufes in einen Motorölkreislauf und einen Druckölkreislauf, zu verbessern, wird insbesondere ergänzend dadurch gelöst, dass der Motorölkreislauf einen Motorölsumpf und eine Motorölpumpe aufweist und der Druckölkreislauf einen Druckölsumpf und eine Druckölpumpe aufweist. Dies hat den wirkungsgradsteigernden Vorteil, dass
15 die Motorölpumpe und die Druckölpumpe einen für den Motorölkreislauf und den Druckölkreislauf unabhängigen Ölstrom zur Verfügung stellen kann, und somit der Leistungsbedarf der Motorölpumpe und der Druckölpumpe den Erfordernissen des Motorölkreislaufes und des Druckölkreislaufes entspricht.

[50] Um das Benetzen der mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteile, wie etwa des Steuerkolbens und anderer mit dem Steuerkolben in Wechselwirkung stehender Bauteile, sicherzustellen, wird darüber hinaus vorgeschlagen, dass der Druckölsumpf Mittel zum Erfassen eines Ölstandes aufweist. Vorteilhafterweise sind diese Mittel zum Erfassen eines Ölstandes dadurch ausgezeichnet, dass der durch die Mittel zum Erfassen eines Ölstandes ermittelte Ölstand des Druckölsumpfes ein minimaler und/oder ein maximaler Ölstand ist. Dieser Vorteil
20 trägt dazu bei, dass nicht nur eine Mangelschmierung betriebssicher verhindert wird sondern auch, dass ein Überfüllen des Druckölkreislaufes und damit einhergehende Effekte wie Ölschäumung, Ölwerfen oder ein anderweitig nicht gewünschter Ölaustritt aus dem Druckölkreislauf verhindert werden.

[51] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass wenigstens eine Steuerkammer Bestandteil des Druckölkreislaufes ist. Der Vorteil dieser Anordnung ergibt sich daraus, dass die Steuerkammer, welche an der der Brennkammer abgewandten Seite des Steuerkolbens gebildet wird, den auf den Steuerkolben wirkenden Brennkammerdruck durch das dem Brennkammerdruckniveau entsprechende Druckniveau des Druckölkreislaufes kompensieren kann.

[52] Mit „Steuerkammer“ wird hierbei ein entsprechender Hohlraum beschrieben, der auf einer der Brennkammer abgewandten Seite des Steuerkolbens oder der Steuerkolben angeordnet ist. Die der Brennkammer abgewandte Seite definiert sich zusätzlich hierzu durch die Bewegungsrichtung des Steuerkolbens. Somit entspricht die der Brennkammer abgewandte Seite der Seite des Steuerkolbens, auf welcher ein aufgebracht Gasdruck in seiner Resultierenden dem auf den Steuerkolben wirkenden Brennkammerdruck entgegensteht. In der Steuerkammer können auch weitere Baugruppen, die mit dem oder den Steuerkolben wechselwirken, wie beispielsweise steuernd wirksame Kurvenscheiben oder Lageranordnungen, vorgesehen sein. Insofern beinhaltet der Druckölkreislauf des Ölkreislaufes ggf. auch Teile des oder der Steuerkolben, wobei das zur Schmierung des Steuerkolbens umlaufende Öl nach Benetzen der an dem Steuerkolben befindlichen Reibpaarungen in diese Steuerkammer fließen und von hier aus in einem Ölsumpf gesammelt werden kann.

[53] Um den wirkungsgradoptimierenden Vorteil der Kompensation eines an verschiedenen Bauteilen wirkenden Brennkammerdrucks umzusetzen, wird weiterhin vorgeschlagen, dass der Druckölkreislauf über eine Ladeleitung mit wenigstens einem Zylinder der Verdichterstufe verbunden ist. Die Verwendung einer derartigen Ladeleitung bringt den Vorteil, dass stets ein Druckniveau im Druckölkreislauf betriebssicher und einfach bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden kann, welcher in ähnlicher Höhe auch in der Brennkammer vorliegt. Zweckmäßig und vorteilhaft wird ein über diese Ladeleitung betriebspunktabhängig gesteuerter bzw. geregelter Druckaufbau zur Verfügung gestellt.

[54] Um den Erfordernissen wechselnder Lastpunkte des Axialkolbenmotors gerecht zu werden, wird vorgeschlagen, dass zwischen wenigstens einem Zylinder der Verdichterstufe und dem Druckölkreislauf ein Ladeventil angeordnet ist, um einen betriebspunktabhängig gesteuerten bzw. geregelten Druckaufbau zur Verfügung zu stellen. Dieses Ladeventil kann insbesondere in der vorstehend bereits beschriebenen Ladeleitung vorgesehen sein.

[55] Dem regelungstechnischen Aufwand wird das Ladeventil vorzugsweise dadurch gerecht, dass das Ladeventil schaltbar ausgeführt ist, insbesondere dadurch dass das Ladeventil über den Verdichterdruck schaltbar ausgeführt ist. Hierzu kann das Ladeventil mit der Verdichterstufe wirkverbunden sein und eine Steuereinrichtung mit Mitteln zum Schalten aufweisen.

[56] In einer geeigneten Ausführungsform kann das Ladeventil beispielsweise ein elektrisch oder elektronisch betätigtes oder aber auch ein pneumatisch betätigtes Ventil sein. So kann das Ladeventil mittelbar durch ein Steuergerät betätigt werden oder aber auch unmittelbar durch den am Ventil anliegenden Verdichterdruck. Übersteigt der Verdichterdruck einen bestimmten Wert, öffnet das Ladeventil und die Verdichterstufe wird mit dem Druckölkreislauf verbunden, wodurch es zu einer Aufladung des Druckölkreislaufes mit verdichteter Luft oder einem sonstigen in der Verdichterstufe vorhandenen Medium kommt.

[57] Entsprechend den im Betrieb des Axialkolbenmotors vorliegenden Lastpunkten kennzeichnet sich das Ladeventil vorteilhaft dadurch aus, dass das Ladeventil bei einem Ladedruck von 5 bar, bevorzugter bei 10 bar, am bevorzugtesten bei 30 bar schaltet. Dies hat den Vorteil, dass im Druckölkreislauf ein Druck zur Verfügung gestellt werden kann, welcher zur Kompensation eines an einem Bauteil wirkenden Brennkammerdruckes erforderlich ist oder diesem weitestgehend entspricht. Ferner wird durch das oben beschriebene Ladeventil wirksam ein Entweichen des Druckes aus dem Druckölkreislauf verhindert, sofern der Verdichterdruck unter ein Druckniveau fällt, welches im Druckölkreislauf vorliegt. Vorteilhaft kann ein Ladeventil als ein pneumatisches, druckgesteuertes Mehrwegeventil ausgeführt sein, so dass eine aktive Steuerung des Ladeventils möglich ist.

[58] Es ist darüber hinaus auch denkbar, dass das Ladeventil ein Rückschlagventil, insbesondere ein druckgesteuertes Rückschlagventil, ist. Dieses ermöglicht eine baulich besonders einfache Schaltung des Ladeventils, ohne dass weitere Maßnahmen notwendig sind.

[59] Die Verwendung eines durch eine Verdichterstufe des Axialkolbenmotors bereitgestellten Druckes, wobei eine zur Aufbringung dieses Druckes bereitgestellte Luft oder ein bereitgestelltes Brennmittel bei einer Verdichtung aus Umgebungsbedingungen heraus in der Regel ein über den Umgebungsbedingungen stehendes Temperaturniveau aufweist, kann zur Folge haben,

dass ein Druckabfall nach einer Drosselstelle, wie sie ein Ventil darstellt, oder eine Kühlung an einer Wandung der Ladeleitung eine Kondensation eines Fluides zur Folge haben kann.

[60] Als weitere Ausgestaltung des Druckölkreislaufes wird daher vorgeschlagen, dass zwischen dem Ladeventil und dem Druckölkreislauf ein Ölabscheider angeordnet ist. Da sich ein an diesem Ölabscheider abgeschiedenes Öl bereits auf hohem Druckniveau befindet, wird ferner vorgeschlagen, dass ein Ablauf des Ölabscheiders mit dem Druckölsumpf verbunden ist. Weiterhin wird vorgeschlagen, dass zwischen dem Ladeventil und dem Druckölkreislauf ein Wasserabscheider angeordnet ist. Hierdurch kann möglicherweise in der verdichteten Luft befindlicher Wasserdampf bereits vor Einleiten dieser Druckluft wirkungsvoll ausgeschieden werden, so dass ein Auskondensieren des Wasserdampfes im Druckölkreislauf verhindert wird und hierüber die Lebensdauer des Axialkolbenmotors nicht durch auftretende Korrosion begrenzt wird. Auch kann für den Fall eines Rückströmens von der Druckölleitung zur Verdichterstufe hin ein Verlust von Öl aus dem Druckölkreislauf wirksam verhindert werden, wenn, wie vorgeschlagen, ein Ölabscheider verwendet wird und ein Ablauf des Ölabscheiders das abgeschiedene Öl dem Druckölkreislauf wieder zuführt. Mittels des Ölabscheiders können insbesondere auch Schäden am Axialkolbenmotor verhindert werden, welche in der Verdichterstufe durch Selbstzündung von ölhaltiger Luft hervorgerufen werden könnten.

[61] Eine wirkungsgradgünstige Verwendung eines gegenüber dem Motorölkreislauf höheren Druckniveaus im Druckölkreislauf kann durch das bestehende Druckgefälle zu einer höheren Ölleckage aus dem Druckölkreislauf in den Motorölkreislauf führen. Um den wirkungsgradsteigernden Vorteil eines Druckölkreislaufes dauerhaft während des ganzen Betriebes des Axialkolbenmotors aufrecht zu erhalten, ist es daher zweckmäßig, dass zwischen dem Druckölsumpf und der Druckölpumpe sowie zwischen dem Motorölsumpf bzw. der Motorölpumpe und der Druckölpumpe ein Ausgleichsventil angeordnet ist. Dies hat den Vorteil, dass ein Unterschreiten eines minimalen notwendigen Ölstandes im Druckölsumpf dadurch verhindert werden kann, dass die Druckölpumpe Öl aus dem Motorölsumpf bezieht, so lange bis der Ölstand des Druckölsumpfes ein Maximum erreicht. Diese wirkungsgraderhaltende Ausgestaltung des Ölkreislaufes wird ferner dadurch umgesetzt, dass das Ausgleichsventil den Mitteln zum Erfassen eines Ölstandes wirkverbunden ist.

[62] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das Ausgleichventil mit einer Steuereinrichtung wirkverbunden ist. Eine derartige Steuereinrichtung kann beispielsweise ein Steuergerät des Axialkolbenmotors sein, in welchem Kennfelder oder Algorithmen abgelegt sind, nach welchen ebenfalls ein Verbinden des Druckölkreislaufes mit dem Motorölkreislauf erfolgen soll, um ein
5 Ausgleich des Ölstandes im Druckölkreislauf zu erreichen. Folglich kann das Ausgleichsventil unmittelbar mit den Mitteln zum Erfassen eines Ölstandes oder aber mittelbar über eine Steuereinrichtung mit den Mitteln zum Erfassen eines Ölstandes verbunden sein.

[63] Denkbar ist auch, dass die Steuereinrichtung das Ausgleichsventil nicht nur über den Ölstand im Druckölkreislauf, sondern auch über die Temperatur oder eine andere Kenngröße,
10 wie etwa einem Notlaufsignal oder einem Wartungssignal, ansteuert, um beispielsweise ein Austauschen des im Druckölkreislauf befindlichen Öls zu erreichen.

[64] Die Verwendung eines gegenüber dem Motorölkreislauf höheren Druckniveaus im Druckölkreislauf ist dann energetisch besonders vorteilhaft, wenn das Ausgleichsventil vorzugsweise in einem ersten Betriebszustand den Druckölsumpf mit der Druckölpumpe verbindet
15 und in einem zweiten Betriebszustand den Motorölsumpf oder die Motorölpumpe mit der Druckölpumpe verbindet. Dies hat den Vorteil, den Wirkungsgrad durch Verwendung des Druckölkreislaufes dahingehend sicherzustellen, dass lediglich bei geringen Druckdifferenzen zwischen dem Motorölkreislauf und dem Druckölkreislauf diese beiden Teilkreisläufe verbunden werden, sodass die Leistungsaufnahme der Druckölpumpe durch eine Überwindung eines
20 hohen Druckunterschiedes nicht zu Wirkungsgradeinbußen führt.

[65] Für eine wirkungsgraderhaltende Ausgestaltung des Ausgleichsventils wird kumulativ hierzu vorgeschlagen, dass der erste Betriebszustand der Teillast und/oder der Volllast des Axialkolbenmotors entspricht und der zweite Betriebszustand dem Leerlauf und/oder einem Stillstand des Axialkolbenmotors entspricht. Diese Ausgestaltung des Ausgleichsventils stellt sicher,
25 dass das Ausgleichsventil nur bei geringen Druckunterschieden zwischen dem Motorölkreislauf und dem Druckölkreislauf geschaltet wird, um ein Rücklaufen des Öls aus dem Druckölkreislauf in den Motorölkreislauf wegen eines negativen Druckgefälles wirksam zu verhindern. Eine Entleerung des Druckölkreislaufes könnte ggf. durch Mangelschmierung den Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors erheblich verschlechtern.

[66] Alternativ bzw. kumulativ wird daher darüber hinaus vorgeschlagen, dass zwischen dem Motorölsumpf und dem Ausgleichsventil oder zwischen der Motorölpumpe und dem Ausgleichsventil ein als Rückschlagventil ausgebildetes Rücklaufventil angeordnet ist. Mittels dieses Rücklaufventils kann weiterhin vorteilhaft ein unbeabsichtigtes Entleeren des Druckölkreislaufes bei einer Fehlfunktion des Ausgleichsventils verhindert werden.

[67] Insbesondere wird dementsprechend vorgeschlagen, dass das Rücklaufventil eine Strömungsrichtung vom Motorölkreislauf zum Druckölkreislauf aufweist.

[68] Die Sicherungsfunktion des Rückschlagventils wird in dieser Anordnung vorteilhaft dadurch umgesetzt, dass hierdurch ein weiteres Befüllen des Druckölkreislaufes bei einem positiven Druckgefälle möglich ist, ein Entleeren bei negativem Druckgefälle jedoch unterbunden wird.

[69] Für die Umsetzung eines wirkungsgradverbesserten Axialkolbenmotors wird zudem dementsprechend ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, wobei ein Brennmittelstrom von der Brennkammer unter Brennkammerdruck zum Zylinder der Expanderstufe über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird und der Axialkolbenmotor einen Ölkreislauf zur Schmierung aufweist, vorgeschlagen, welches sich dadurch auszeichnet, dass der Ölkreislauf in einen Motorölkreislauf und in einen Druckölkreislauf aufgeteilt wird und mit Brennkammerdruck beaufschlagte Bauteile des Axialkolbenmotors durch den Druckölkreislauf geschmiert werden.

[70] Zusätzlich hierzu wird vorgeschlagen, dass der auf den Steuerkolben wirkende Brennkammerdruck durch ein in einer Steuerkammer bestehendes und dem Brennkammerdruck entsprechenden Druckniveau kompensiert wird.

[71] Diese vorgeschlagenen Verfahren für einen Axialkolbenmotor tragen wiederum zu einer Wirkungsgradverbesserung des Axialkolbenmotors bei, indem einerseits die beiden Teilkreisläufe des Ölkreislaufes jeweils für sich genommen auf einem minimal erforderlichen Druckniveau arbeiten, und somit die Leistungsaufnahme der in diesen Teilkreisläufen befindlichen Ölpumpen bedarfsgerecht, minimal und damit wirkungsgradoptimiert ist. Andererseits wird durch

die Kompensation eines Brennkammerdruckes an den mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteilen insbesondere an dem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Steuerkolben eine nicht dem Wirkungsgrad des Kreisprozesses dienliche Kolbenarbeit an dem Steuerkolben verhindert bzw. minimiert, sodass der thermodynamische Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors maximiert wird.

5 [72] Vorteilhaft kann das dem Brennkammerdruck entsprechende Druckniveau in der Steuerkammer durch die Verdichterstufe bereitgestellt werden. Dies bringt den Vorteil, dass ein zusätzliches Aggregat bzw. eine zusätzliche Baugruppe zur Erzeugung eines entsprechenden Druckniveaus nicht erforderlich ist und weiterhin hat dies den Vorteil, dass der durch die
10 Verdichterstufe bereitgestellte Druck bzw. das Druckniveau auch in einer Größenordnung liegt, welche dem zu kompensierenden Brennkammerdruck entspricht.

[73] Vorzugsweise wird bei Unterschreiten eines minimalen Ölstandes in einem Druckölsumpf der Druckölkreislauf mit Öl aus dem Motorölkreislauf befüllt. Dies hat den Vorteil, dass stets ausreichend Öl zur Schmierung der durch Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteile zur
15 Verfügung steht, indem durch den erhöhten Druck aus dem Druckölkreislauf austretendes Öl durch Öl aus dem Motorölkreislauf ersetzt wird. Hierfür kann der Druckölkreislauf mit dem Motorölkreislauf insbesondere bei Leerlauf und/oder bei Stillstand des Axialkolbenmotors verbunden werden, da dann die Druckunterschiede verhältnismäßig gering sind. Eine hohe Druckdifferenz zwischen dem Druckölkreislauf und dem Motorölkreislauf kann durch dieses vorge-
20 schlagene Verfahren vorteilhaft umgangen werden, indem die Entnahme von Öl aus dem Motorölkreislauf insbesondere dann erfolgt, wenn die Druckdifferenz zwischen dem Motorölkreislauf und dem Druckölkreislauf minimal ist, so dass die durch diese Druckdifferenz bewirkte Leistungsaufnahme der zwei Druckölpumpen minimal ist und hierüber der Gesamtwirkungsgrad des Axialkolbenmotors maximiert wird.

25 [74] Alternativ oder ergänzend zu dem letztgenannten Verfahren kann der Druckölkreislauf mit dem Motorölkreislauf bei einem Druckunterschied kleiner als 5 bar zwischen dem Druckölkreislauf und dem Motorölkreislauf verbunden werden. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, dass der Druckölkreislauf mit Öl aus dem Motorölkreislauf befüllt werden kann, wenn ein Druckunterschied zwischen dem Motorölkreislauf und dem Druckölkreislauf, unabhängig von
30 der Drehzahl des Axialkolbenmotors, einen Wert angenommen hat, bei welchem die Überwin-

dung des zum Befüllen des Druckölkreislaufes nötigen Druckunterschiedes eine minimale Leistungsaufnahme der dazu verwendeten Ölpumpe erfordert. Somit kann der Druckölkreislauf auch während des Betriebes des Axialkolbenmotors betriebssicher bei günstigen Wirkungsgraden befüllt werden.

5 [75] Die Aufgabe vorliegender Erfindung wird, kumulativ bzw. alternativ zu den übrigen Merkmalen vorliegender Erfindung, durch einen Axialkolbenmotor mit einer Brennmittelzufuhr und einer Abgasabfuhr, die wärmeübertragend miteinander gekoppelt sind, gelöst, welcher sich durch wenigstens eine Wärmeübertragerisolation auszeichnet. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass möglichst viel Wärmeenergie in dem Axialkolbenmotor verbleibt und über
10 die Wärmeübertrager an das Brennmittel wieder genutzt wird. In diesem Zusammenhang versteht es sich, dass die Wärmeübertragerisolation den Wärmeübertrager nicht zwingend vollständig umgeben muss, da gegebenenfalls einige Abwärme auch an anderer Stelle in dem Axialkolbenmotor vorteilhaft genutzt werden kann. Insbesondere jedoch nach außen hin sollte die Wärmeübertragerisolation vorgesehen sein.

15 [76] Vorzugsweise ist die Wärmeübertragerisolation derart ausgelegt, dass sie zwischen Wärmeübertrager und Umgebung des Axialkolbenmotors einen maximalen Temperaturgradienten von 400 °C, insbesondere von wenigstens 380 °C, belässt. Insbesondere mit fortschreitender Wärmeübertragung, also zur Verdichterseite hin, kann der Temperaturgradient dann schnell wesentlich kleiner werden. Kumulativ bzw. alternativ hierzu kann die Wärmeübertragerisolation
20 vorzugsweise derart ausgelegt werden, dass die Außentemperatur des Axialkolbenmotors im Bereich der Wärmeübertragerisolation 500 °C bzw. 480 °C nicht übersteigt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die durch Wärmestrahlung und Wärmeübergang verlorene Energiemenge auf ein Minimum reduziert wird, da die Verluste bei noch höheren Temperaturen bzw. Temperaturgradienten überproportional ansteigen. Darüber hinaus tritt die Maximaltemperatur bzw. der
25 maximale Temperaturgradient nur an einer kleinen Stelle auf, da im Übrigen die Temperatur des Wärmeübertragers zur Verdichterseite immer mehr abnimmt.

[77] Vorzugsweise umfasst die Wärmeübertragerisolation zumindest eine Komponente aus einem von dem Wärmeübertrager abweichenden Material. Dieses Material kann dann auf seine Aufgabe als Isolation optimal ausgelegt sein und beispielsweise Asbest, Asbestersatz, Wasser
30 oder Luft umfassen, wobei die Wärmeübertragerisolation, insbesondere um Wärmeabtransport

durch Materialbewegung zu minimieren, bei fluidischen Isolationsmaterialien ein Gehäuse aufweisen muss, während bei festen Isolationsmaterialien ein Gehäuse zur Stabilisation oder als Schutz vorgesehen sein kann. Das Gehäuse kann insbesondere aus demselben Material wie das Mantelmaterial des Wärmeübertragers gebildet sein.

5 [78] Unabhängig hiervon wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor gelöst, welcher sich durch wenigstens zwei Wärmeübertrager auszeichnet. Hierbei umfasst der Axialkolbenmotor im Wesentlichen eine Brennmittelzufuhr und eine Abgasabfuhr, die wärmeübertragend miteinander gekoppelt sind. Insbesondere bei mehreren Auslassventilen je Arbeitszylinder können Abgase aus dem jeweiligen Arbeitszylinder schneller abtransportiert werden,
10 wenn beispielsweise ein erster Wärmeübertrager ersten Auslassventilen und ein zweiter Wärmeübertrager zweiten Auslassventilen nachgeschaltet und zugeordnet ist. Obgleich durch zwei Wärmeübertrager zunächst ein größerer Aufwand und komplexere Strömungsverhältnisse, die mithin eigentlich den Wirkungsgrad vermindern, bedingt sind, ermöglicht der Einsatz zweier Wärmeübertrager wesentlich kürzere Wege zu dem Wärmeübertrager sowie eine energetisch
15 günstigere Anordnung derselben. Hierdurch lässt sich der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors überraschenderweise erheblich erhöhen.

[79] Dieses gilt insbesondere für Axialkolbenmotoren mit stationären Zylindern, in welchen die Kolben jeweils arbeiten, in Abweichung von Axialkolbenmotoren, bei denen die Zylinder, und mithin auch die Kolben, ebenfalls um die Drehachse rotieren, da letztere Anordnung lediglich eine Abgasleitung benötigen, an welcher die Zylinder vorbeigeführt werden.
20

[80] Vorzugsweise sind die Wärmeübertrager im Wesentlichen axial angeordnet, wobei der Begriff „axial“ in vorliegendem Zusammenhang eine Richtung parallel zur Hauptrotationsachse des Axialkolbenmotors bzw. parallel zur Drehachse der Rotationsenergie bezeichnet. Dieses ermöglicht eine besonders kompakte und mithin energiesparende Bauweise, was insbesondere
25 auch gilt, wenn lediglich ein Wärmeübertrager, insbesondere ein isolierter Wärmeübertrager, zur Anwendung kommt.

[81] Weist der Axialkolbenmotor wenigstens vier Kolben auf, so ist es von Vorteil, wenn die Abgase wenigstens zweier benachbarter Kolben in jeweils einen Wärmeübertrager geleitet werden. Hierdurch können die Wege zwischen Kolben und Wärmeübertrager für die Abgase mini-

miert werden, so dass Verluste in Form von Abwärme, die nicht über die Wärmeübertrager zurückgewonnen werden kann, auf ein Minimum reduziert werden können. Letzteres kann auch noch erreicht werden, wenn die Abgase dreier benachbarter Kolben jeweils in einen gemeinsamen Wärmeübertrager geleitet werden.

5 [82] Andererseits ist es auch denkbar, dass der Axialkolbenmotor wenigstens zwei Kolben umfasst, wobei die Abgase jedes Kolbens in jeweils einen Wärmeübertrager geleitet werden. Insoweit kann es – je nach konkreter Umsetzung vorliegender Erfindung – vorteilhaft sein, wenn je Kolben ein Wärmeübertrager vorgesehen ist. Zwar bedingt dieses einen erhöhten baulichen Aufwand; andererseits können die Wärmeübertrager jeweils kleiner, und mithin baulich
10 möglicherweise einfacher, ausgebildet sein, wodurch der Axialkolbenmotor insgesamt kompakter und somit mit geringeren Verlusten belastet baut. Insbesondere bei dieser Ausgestaltung, aber auch wenn für je zwei Kolben ein Wärmeübertrager vorgesehen ist, kann - ggf. - der jeweilige Wärmeübertrager in die Zwickel zwischen zwei Kolben integriert werden, wodurch der gesamte Axialkolbenmotor entsprechend kompakt ausgebildet werden kann.

15 [83] Es wird nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ein Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einem Wärmeübertrager, wobei der wärmeaufnehmende Teil Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe
20 und einer Umgebung angeordnet ist, vorgeschlagen, welcher sich dadurch auszeichnet, dass der wärmeaufnehmende und/oder der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers stromabwärts und/oder stromaufwärts Mittel zur Aufgabe wenigstens eines Fluides aufweist.

[84] Die Aufgabe eines Fluides in den Brennmittelstrom kann zu einer Erhöhung der Übertragungsleistung des Wärmeübertragers beitragen, indem beispielsweise durch die Aufgabe
25 eines geeigneten Fluides die spezifische Wärmekapazität des Brennmittelstromes der spezifischen Wärmekapazität des Abgasstromes angeglichen werden kann oder aber über die spezifische Wärmekapazität des Abgasstromes hinaus angehoben werden kann. Die hierdurch beispielsweise vorteilhaft beeinflusste Wärmeübertragung vom Abgasstrom auf den Brennmittelstrom trägt dazu bei, dass eine höhere Wärmemenge in den Brennmittelstrom und somit in den
30 Kreisprozess bei gleichbleibender Baugröße des Wärmeübertragers eingekoppelt werden kann,

wodurch sich der thermodynamische Wirkungsgrad steigern lässt. Alternativ oder kumulativ kann auch dem Abgasstrom ein Fluid aufgegeben werden. Das aufgegebene Fluid kann hierbei beispielsweise ein erforderliches Hilfsmittel für eine nachgeschaltete Abgasnachbehandlung sein, welches durch eine im Wärmeübertrager ausgebildete turbulente Strömung ideal mit dem Abgasstrom vermischt werden kann, so dass somit ein nachgeschaltetes Abgasnachbehandlungssystem mit maximalem Wirkungsgrad betrieben werden kann.

[85] Mit „stromabwärts“ wird in diesem Fall diejenige Seite des Wärmeübertrager bezeichnet, aus welcher das jeweilige Fluide austritt, bzw. derjenigen Teil des Abgasstranges oder der Brennmittel führenden Verrohrung bezeichnet, in welche das Fluid nach Verlassen des Wärmeübertragers eintritt.

[86] In Analogie hierzu wird mit „stromaufwärts“ diejenige Seite des Wärmeübertrager bezeichnet, in welche das jeweilige Fluide eintritt, bzw. derjenigen Teil des Abgasstranges oder der Brennmittel führenden Verrohrung bezeichnet, aus welcher das Fluid in den Wärmeübertrager eintritt.

[87] Insofern spielt es keine Rolle, ob die Aufgabe des Fluides unmittelbar in der näheren räumlichen Umgebung des Wärmeübertragers erfolgt oder ob die Aufgabe des Fluides räumlich weiter beabstandet erfolgt.

[88] Als Fluid kann beispielsweise Wasser und/oder Brennstoff entsprechend aufgegeben werden. Dies hat den Vorteil, dass der Brennmittelstrom einerseits die zuvor beschriebenen Vorteile einer erhöhten spezifischen Wärmekapazität durch die Aufgabe von Wasser und/oder Brennstoff aufweist und andererseits die Gemischaufbereitung bereits im Wärmeübertrager bzw. vor der Brennkammer erfolgen kann und die Verbrennung in der Brennkammer mit einem möglichst örtlich homogenen Verbrennungsluftverhältnis erfolgen kann. Dies hat insbesondere auch den Vorteil, dass das Brennverfahren nicht oder nur sehr gering mit einer wirkungsgradverschlechternden, unvollständigen Verbrennung behaftet ist.

[89] Für eine weitere Ausgestaltung eines Axialkolbenmotors wird vorgeschlagen, dass im wärmeabgebenden Teil des Wärmeübertragers oder stromabwärts des wärmeabgebenden Teils des Wärmeübertragers ein Wasserabscheider angeordnet ist. Durch die am Wärmeübertrager bestehende Temperatursenke könnte dampfförmiges Wasser auskondensieren und den nachfol-

genden Abgasstrang durch Korrosion schädigen. Eine Schädigung des Abgasstranges kann durch diese Maßnahme vorteilhaft vermindert werden.

[90] Es wird zudem ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe und mit wenigstens einem Wärmeübertrager, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist, vorgeschlagen, bei welchem dem durch den Wärmeübertrager strömende Brennmittelstrom und/oder dem durch den Wärmeübertrager strömende Abgasstrom wenigstens ein Fluid aufgegeben wird. Hierdurch kann - wie bereits vorstehend dargestellt - die wirkungsgradsteigernde Wärmeübertragung von einem in eine Umgebung geleiteten Abgasstrom zu einem Brennmittelstrom verbessert werden, indem die spezifische Wärmekapazität des Brennmittelstromes durch die Aufgabe eines Fluides erhöht und somit auch der Wärmestrom zum Brennmittelstrom erhöht wird. Die Rückkopplung eines Energiestromes in den Kreisprozess des Axialkolbenmotors kann hierbei bei geeigneter Verfahrensführung wiederum eine Wirkungsgradsteigerung, insbesondere eine Steigerung des thermodynamischen Wirkungsgrades, bewirken.

[91] Vorteilhaft wird der Axialkolbenmotor derart betrieben, dass Wasser und/oder Brennstoff aufgegeben werden. Dieses Verfahren bewirkt, dass wiederum der Wirkungsgrad, insbesondere der Wirkungsgrad des Brennverfahrens, durch ideale Mischung im Wärmeübertrager und vor der Brennkammer erhöht werden kann.

[92] Ebenso kann dem Abgasstrom, falls dies für eine Abgasnachbehandlung zweckdienlich ist, Brennstoff aufgegeben werden, sodass die Abgastemperatur im Wärmeübertrager oder nach dem Wärmeübertrager weiter angehoben werden kann. Ggf. kann hierdurch auch eine Nachverbrennung erfolgen, welche das Abgas in vorteilhafter Weise nachbehandelt und Schadstoffe minimiert. Eine im wärmeabgebenden Teil des Wärmeübertragers freigesetzte Wärme könnte somit auch mittelbar zur weiteren Erwärmung des Brennmittelstroms genutzt werden, so dass der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors hierdurch kaum negativ beeinflusst wird.

[93] Um diesen Vorteil weiterhin umzusetzen, wird ferner ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors vorgeschlagen, welches sich dadurch auszeichnet, dass das Fluid stromabwärts und/oder stromaufwärts des Wärmeübertragers aufgegeben wird.

5 [94] Kumulativ oder alternativ hierzu kann abgeschiedenes Wasser dem Brennmittelstrom und/oder dem Abgasstrom erneut aufgegeben werden. Im günstigsten Fall wird hierdurch ein geschlossener Wasserkreislauf realisiert, welchem von außen kein Wasser mehr zugeführt werden muss. Somit entsteht ein weiterer Vorteil dadurch, dass ein mit einem Axialkolbenmotor nach dieser Bauart ausgerüstetes Fahrzeug nicht mit Wasser, insbesondere nicht mit destilliertem Wasser, betankt werden muss.

10 [95] Vorteilhaft wird die Aufgabe von Wasser und/oder Brennstoff zu einem definierten Zeitpunkt vor einem Stillstand des Axialkolbenmotors gestoppt und der Axialkolbenmotor bis zum Stillstand ohne eine Aufgabe von Wasser und/oder Kraftstoff betrieben. Das für einen Abgasstrang möglicherweise schädliche Wasser, welches sich in dem Abgasstrang absetzen kann, insbesondere wenn dieser erkaltet, kann durch dieses Verfahren vermieden werden. Vorteilhaft
15 wird auch jegliches Wasser aus dem Axialkolbenmotor selbst vor dem Stillstand des Axialkolbenmotors entfernt, sodass keine Schädigung von Bauteilen des Axialkolbenmotors durch Wasser oder Wasserdampf, insbesondere während des Stillstandes, begünstigt wird.

[96] Des Weiteren wird die Aufgabe der Erfindung von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens
20 einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird und wobei sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass der Steuerkolben zusätzlich zu der vom Steuertrieb aufgebrauchten Kraft an
25 seiner der Brennkammer abgewandten Seite mit einer dem Brennkammerdruck entgegen gerichteten Kompensationskraft beaufschlagt ist.

[97] Vorteilhafter Weise kann an der Brennkammer mittels einer derartigen zusätzlichen Kompressionskraft eine Abdichtung hinsichtlich des Steuerkolbens wesentlich verbessert werden, wobei zur Abdichtung idealerweise lediglich eine reine einfache Ölabstreifung ausreicht,

sodass eine aus der internationalen Patentanmeldung WO 2009/062473 A2 bekannte diesbezügliche Abdichtung wesentlich vereinfacht ist. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass speziell der Steuertrieb vielseitig ausgelegt sein kann, beispielsweise als hydraulischer, elektrischer, magnetischer oder mechanischer Steuertrieb. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die vom Steuertrieb aufgebraachte Kraft von der erfindungsgemäß dem Brennkammerdruck entgegengerichteten Kompensationskraft verschieden ist.

[98] Im Allgemeinen kann der gesamte Steuertrieb dann wesentlich kompakter gebaut werden, da er im Wesentlichen lediglich Führungskräfte aufnehmen muss. Darüber hinausgehende erforderliche Kräfte können erfindungsgemäß von der Kompensationskraft aufgebraachte werden, sodass der Steuertrieb durch Kräfte zum Abdichten am Steuerkolben nicht oder nur in einem zu vernachlässigenden Maße belastet ist. Auch die Steuerkolben werden entsprechend weniger belastet und können entsprechend leichter und einfacher ausgelegt werden. Da lediglich ein einfacher Ölabstreifer benötigt wird, sinkt auch hierdurch die Belastung des Steuertriebs.

[99] Es versteht sich, dass eine derartige Kompensationskraft konstruktiv auf verschiedene Weise aufgebracht werden kann. Eine bevorzugte Ausführungsvariante sieht hierzu vor, dass die Kompensationskraft mechanisch, beispielsweise über Federn, aufgebracht wird, da eine mechanische Anordnung baulich sehr einfach an dem Axialkolbenmotor umgesetzt werden kann.

[100] Alternativ hierzu ist es vorteilhaft, wenn die Kompensationskraft hydraulisch, beispielsweise über einen Öldruck, aufgebracht wird. Ein derartiger Öldruck kann beispielsweise über eine Ölpumpe, insbesondere auch über eine separate Ölpumpe, bereit gestellt werden. Zwar kann der erforderliche Öldruck derart gewählt werden, dass ein üblicherweise am Axialkolbenmotor vorhandener Öldruck zum Erzeugen der Kompensationskraft ausreicht und für diese genutzt werden kann. Vorteilhaft ist jedoch eine separate Ölpumpe und ein separater Ölkreislauf, die von einem sonstigen in dem Axialkolbenmotor Druck ausgehend arbeitet, insbesondere beispielsweise gegen den Verdichterdruck, so dass diese Ölpumpe nur eine geringe Leistung aufbringen muss. Diese Lösung kann ggf. ergänzend zu dem vorstehend beschriebenen, unter erhöhten Druck betriebenen Ölkreislauf zur Anwendung kommen.

[101] Hinsichtlich einer weiteren Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Kompensationskraft pneumatisch, insbesondere über den Verdichterdruck, aufgebracht wird. Diese pneumatische Variante hat besonders den Vorteil, dass der Druck zum Erzeugen der Kompensationskraft ohnehin am Axialkolbenmotor vorliegt und zudem vorteilhafter Weise etwa dem Brenn-
5 kammerdruck entspricht, da die eigentliche Arbeit zum Erzeugen des Drucks bereits im Arbeitskolben erfolgt. Insofern braucht lediglich eine kleine Abdichtung vorgesehen sein, die lediglich einen geringen Druckunterschied abdichten braucht. Ergänzend hierzu kann eine Ölpumpe einen entsprechenden Ölfilm erzeugen, wobei diese dann vorteilhaft das Öl in einem separaten Kreislauf führt, damit diese Ölpumpe lediglich einem besonders geringen Gegendruck
10 ausgesetzt ist, wie dieses bereits vorstehend erläutert wurde. Insofern braucht die Ölpumpe dann nicht Pumparbeit gegen den Verdichterdruck aufzubringen.

[102] Vorteilhafter Weise kann, wie bereits vorstehend dargestellt, die pneumatisch erzeugte Kompensationskraft mittels eines vorgesehenen Brennmitteldrucks von ca. 30 bar erzeugt werden. Hierdurch kann insbesondere die Steuerkammer vorteilhaft abgedichtet werden, sodass –
15 wie bereits vorstehend angedeutet – lediglich eine Ölabbstreifung zur Abdichtung erforderlich ist.

[103] Insofern sieht eine weitere Lösung vorliegender Aufgabe einen Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, vor, wobei der Brennmittelstrom von
20 der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, und wobei sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass der Steuerkolben in einem Druckraum, beispielsweise der bereits vorstehend im Detail erläuterten Steuerkammer, angeordnet ist.

[104] Auf Grund der Tatsache, dass der Steuerkolben an sich in einem Druckraum bzw. in der
25 Steuerkammer angeordnet ist, ist vorteilhafter Weise keine aufwändige Abdichtung erforderlich, sodass mit weniger Verlusten am Axialkolbenmotor gearbeitet werden kann, wodurch wiederum der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors verbessert werden kann. Aus dem Stand der Technik ist bisher nur bekannt, dass die Brennkammerseite in einem Druckraum vorgesehen ist, jedoch nicht der Steuerkolben.

[105] In diesem Zusammenhang bezeichnet der Begriff „Druckraum“ jeden umschlossenen Raum des Axialkolbenmotors, der gegenüber der Umgebung einen deutlichen Überdruck, vorzugsweise von mindestens 10 bar aufweist, was insbesondere u.U. für die vorstehend erläuterte Steuerkammer gilt.

5 [106] Darüber hinaus wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, gelöst, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert
10 wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, und wobei sich der Axialkolbenmotor speziell dadurch auszeichnet, dass der Steuertrieb eine Steuerwelle umfasst, welche den Steuerkolben antreibt und welche mit einer Wellendichtung zusammenwirkt, die einerseits mit Verdichterdruck beaufschlagt ist.

[107] Ist die Wellendichtung einerseits mit Verdichterdruck beaufschlagt, ist im Idealfall keine weitere Abdichtung erforderlich, und der Axialkolbenmotor kann vorteilhafter Weise mit
15 einem geringeren Verlust betrieben werden. Die Wellendichtung dient dann vorzugsweise als Dichtung für einen Druckraum des Axialkolbenmotors, der den Verdichterdruck aufweist.

[108] Es kann bei einer entsprechend ausgestalteten Wellendichtung jedoch auch mit Atmosphärendruck oder mit einem sonstigen Motorendruck, welcher niedriger als der
20 Verdichterdruck ist, gearbeitet werden.

[109] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe vorgeschlagen, welcher sich dadurch auszeichnet, dass die Verdichterstufe ein von der Expanderstufe verschiedenes Hubvolumen aufweist.
25

[110] Insbesondere wird kumulativ hierzu vorgeschlagen, dass das Hubvolumen der Verdichterstufe kleiner ist als das Hubvolumen der Expanderstufe.

[111] Weiterhin wird ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe vorgeschlagen, welches sich dadurch auszeichnet, dass ein Brennmittel
5 oder ein als Abgas vorliegendes verbranntes Brennmittel während der Expansion in der Expanderstufe mit einem größeren Druckverhältnis als ein während der Verdichtung in der Verdichterstufe vorliegendes Druckverhältnis expandiert wird.

[112] Der thermodynamische Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors kann durch diese Maßnahmen jeweils besonders vorteilhaft maximiert werden, da das theoretische thermodynamische
10 Potential eines in einem Axialkolbenmotor umgesetzten Kreisprozesses im Gegensatz zum bisherigen Stand der Technik, wie etwa der WO 2009/062473, durch die hierdurch ermöglichte verlängerte Expansion maximal ausgenutzt werden kann. In einem aus der Umgebung ansaugenden und in dieselbe Umgebung ausstoßenden Motor erreicht der thermodynamische Wirkungsgrad durch diese Maßnahme seinen in dieser Hinsicht maximalen Wirkungsgrad, wenn die
15 Expansion bis Umgebungsdruck erfolgt.

[113] Daher wird weiterhin ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors vorgeschlagen, mittels welchem das Brennmittel in der Expanderstufe annähernd bis zu einem Umgebungsdruck expandiert wird.

[114] Mit „annähernd“ ist ein maximal um den Betrag der Reibleistung des Axialkolbenmotors erhöhter Umgebungsdruck gemeint. Eine Expansion bis zum exakten Umgebungsdruck bewirkt bei einem von 0 bar verschiedenen Reibmitteldruck keinen wesentlichen Vorteil im Wirkungsgrad gegenüber einer Expansion bis zum Betrag des Reibmitteldruckes. Der Betrag des Reibmitteldruckes kann als ein auf den Kolben angreifender im Mittel konstanter Druck aufgefasst werden, wobei der Kolben als kräftefrei zu betrachten ist, wenn der auf die Kolben-
25 oberseite angreifende Zylinderinnendruck gleich dem auf die Kolbenunterseite angreifenden Umgebungsdruck zuzüglich des Reibmitteldruckes ist. Daher ist ein günstiger Gesamtwirkungsgrad eines Verbrennungsmotors bereits bei Erreichen eines relativen Expansionsdruckes gegeben, welcher auf Niveau des Reibmitteldruckes liegt.

[115] Vorteilhaft kann ein Axialkolbenmotor zur Umsetzung dieses Vorteils weiterhin in der Art ausgeführt werden, dass ein Einzelhubvolumen wenigstens eines Zylinders der Verdichterstufe kleiner ist als das Einzelhubvolumen wenigstens eines Zylinders der Expanderstufe. Insbesondere ist es denkbar, durch ein großes Einzelhubvolumen der Zylinder der Expanderstufe, falls die Zylinderzahl der Expanderstufe und der Verdichterstufe identisch bleiben soll, den thermodynamische Wirkungsgrad durch eine günstige Beeinflussung des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses, wodurch geringere Wandwärmeverluste in der Expanderstufe erreicht werden, zu begünstigen. Hierbei versteht es sich, dass diese Ausgestaltung bei einem Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe sowie der Expanderstufe auch unabhängig von den übrigen Merkmalen vorliegender Erfindung vorteilhaft ist.

[116] Alternativ bzw. kumulativ wird ebenfalls vorgeschlagen, dass die Anzahl der Zylinder der Verdichterstufe gleich oder geringer ist als die Anzahl der Zylinder der Expanderstufe.

[117] Zusätzlich zu den vorherstehenden Vorteilen kann durch die Wahl einer geeigneten Anzahl von Zylindern, insbesondere einer verringerten Anzahl von Zylindern, bei identischem Einzelhubvolumen eines Zylinders der Expander- und Verdichterstufe, der mechanische Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors und somit auch der Gesamtwirkungsgrad des Axialkolbenmotors maximiert werden, indem zur Realisierung einer verlängerten Expansion wenigstens ein Zylinder der Verdichterstufe entfällt und somit die Reibleistung des entfallenen Zylinders ebenfalls nicht mehr aufgebracht werden muss. Etwaige Unwuchten, welche durch eine derartige Asymmetrie der Kolben- bzw. Zylinderanordnung bedingt sein könnten, können unter Umständen in Kauf genommen bzw. durch ergänzende Maßnahmen vermieden werden.

[118] Zur Lösung der Eingangs gestellten Aufgabe wird weiterhin ein Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einer Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe vorgeschlagen, welche sich dadurch auszeichnet, dass wenigstens ein Zylinder wenigstens ein Gaswechselventil aus einem Leichtmetall aufweist. Leichtmetall, insbesondere bei Verwendung an bewegten Bauteilen, reduziert die Massenträgheit der aus diesem Leichtmetall bestehenden Bauteile und kann wegen seiner geringen Dichte

die Reibleistung des Axialkolbenmotors dahingehend verringern, dass der Steuertrieb der Gaswechselventile entsprechend der geringeren Massenkräfte ausgelegt wird. Die Verringerung der Reibleistung durch Verwendung von Bauteilen aus Leichtmetall führt wiederum zu einem geringeren Gesamtverlust am Axialkolbenmotor und gleichzeitig zu einer Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades.

[119] Kumulativ hierzu wird vorgeschlagen, dass der Axialkolbenmotor sich dadurch auszeichnet, dass das Leichtmetall Aluminium oder eine Aluminiumlegierung, insbesondere Dural, ist. Aluminium, insbesondere eine feste bzw. hochfeste Aluminiumlegierung, bietet sich für eine Ausgestaltung eines Gaswechselventils besonders an, da hierbei nicht nur das Gewicht eines Gaswechselventils über die Dichte des Werkstoffes sondern auch die Festigkeit eines Gaswechselventils erhöht werden kann bzw. auf hohem Niveau gehalten werden kann. Selbstverständlich ist es auch denkbar, dass anstatt Aluminium oder einer Aluminiumlegierung auch der Werkstoff Titan oder Magnesium oder eine Legierung aus Aluminium, Titan und/oder Magnesium verwendet werden kann. Ein entsprechend leichtes Gaswechselventil kann insbesondere Lastwechseln entsprechend schneller folgen, als dieses schon aufgrund der größeren Trägheit ein schwereres Gaswechselventil umsetzen kann.

[120] Das Gaswechselventil kann insbesondere ein Einlassventil sein. Den Vorteil eines leichten Gaswechselventils und eines einhergehenden geringeren Reibmitteldruckes bzw. einer geringeren Reibleistung des Axialkolbenmotors kann insbesondere bei Verwendung eines Einlassventils aus einem leichten Werkstoff umgesetzt werden, da an dieser Stelle des Axialkolbenmotors niedrige Temperaturen vorliegen, welche eine ausreichende Distanz zur Schmelztemperatur von Aluminium oder Aluminiumlegierungen haben.

[121] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird zur Lösung der Eingangs gestellten Aufgabe ein Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, vorgeschlagen, welcher sich dadurch auszeichnet, dass der Steuerkolben einen mit einem bei Betriebstemperatur des Axialkolbenmotors flüssigem Metall gefüllten Hohlraum oder einen mit einer bei Betriebs-

temperatur des Axialkolbenmotors flüssigen Metalllegierung gefüllten Hohlraum aufweist. Die Verwendung einer bei Betriebstemperatur flüssigen Metalllegierung oder eines flüssigen Metalls kann zur intensiven Kühlung des Steuerkolbens verwendet werden, wodurch vorteilhaft der Steuerkolben auch bei höheren Temperaturen mit ausreichender Lebensdauer und Festigkeit verwendet werden kann.

[122] Es wird kumulativ hierzu vorgeschlagen, dass das Metall oder die Metalllegierung wenigstens Natrium aufweist. Natrium hat mit seiner sehr geringen Schmelztemperatur und seiner guten Handhabbarkeit im Verbrennungsmotor den Vorteil in heißen Bauteilen eingesetzt werden zu können. Es versteht sich, dass auch jegliches Metall aus der Alkali-Gruppe des Periodensystems verwendet werden kann, sofern die Schmelztemperatur des Metalls unterhalb der Betriebstemperatur des Axialkolbenmotors liegt. Ferner versteht es sich, dass ebenso die Werkstoffe Quecksilber, Gallium, Indium, Zinn, Blei oder Legierungen aus diesen Werkstoffen sowie andere flüssige Metalle für diese Zwecke verwendet werden können.

[123] Die eingangs erläuterte Aufgabe wird auch - insbesondere in Abgrenzung gegen die WO 2009/062473 A2 - von einem Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem Steuerkolben sowie einem Kanal zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe gelöst, bei welchem der Steuerkolben und der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt mit einer Hauptstromrichtung aufweisen und der Steuerkolben eine Leitfläche parallel zu der Hauptstromrichtung und/oder eine Prallfläche senkrecht zu der Hauptstromrichtung aufweist sowie bei welchem der Steuerkolben sowie der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt aufweisen und die Bewegung des Steuerkolben entlang einer Längsachse des Steuerkolbens erfolgt und der Steuerkolben eine Leitfläche und/oder eine Prallfläche in einem spitzen Winkel zu der Längsachse des Steuerkolbens aufweist.

[124] Üblicherweise ist ein Ladungswechsel zwischen zwei mit Volumen behafteten Bauteilen eines Verbrennungsmotors, durch eine Drosselstelle hindurch, mit Strömungsverlusten verbunden. Eine derartige Drosselstelle, welche in der vorliegenden Situation durch den Kanal und den Steuerkolben gebildet wird, verursacht durch diese Strömungsverluste einen Verlust an

Wirkungsgrad. Die strömungstechnisch günstige Ausgestaltung dieses Kanals und/oder des Steuerkolbens bewirken somit eine Wirkungsgradsteigerung.

[125] Demnach hat eine parallel zu der Hauptstromrichtung ausgerichtete Leitfläche des Steuerkolbens den Vorteil Strömungsverluste zu vermeiden und den Wirkungsgrad zu maximieren.

5 Insbesondere wenn die Strömung so ausgebildet ist, dass sie gerade nicht senkrecht zur Längsachse des Steuerkolbens erfolgt, kann durch eine im spitzen Winkel zu der Längsachse des Steuerkolbens ausgerichtete Leitfläche die Leitfläche in einem günstigen Winkel zu einer über diese Leitfläche strömenden Strömung stehen. Vorteilhaft wird auch durch diese Maßnahme der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors erhöht, indem die Strömungsverluste an der Leitfläche
10 bzw. am Steuerkolben minimiert werden.

[126] Mit „Hauptstromrichtung“ ist vorliegend die Strömungsrichtung des Brennmittels durch den Kanal gemeint, welche bei laminarer oder auch bei turbulenter Strömung des Brennmittels messbar und auch grafisch darstellbar ist. Das Merkmal „parallel“ bezieht sich somit auf diese Hauptstromrichtung und ist im mathematisch geometrischen Sinne zu verstehen, wobei eine zu
15 der Hauptstromrichtung parallele Leitfläche eines Steuerkolbens gerade durch die Strömung des Brennmittels keinen Impuls aufnimmt oder den Impuls der Strömung gerade nicht ändert.

[127] Sofern der Steuerkolben eine Position erreicht hat, bei welcher der Steuerkolben den freigegebenen Strömungsquerschnitt verschließt, steht vorteilhaft diese senkrecht zur Hauptstromrichtung ausgebildete Prallfläche mit einer minimalen Oberfläche zur Brennkammer, so-
20 dass in dieser Brennkammer befindliches Brennmittel auch einen minimalen Wärmestrom in den Steuerkolben bewirkt. Somit werden durch diese gegenüber der Hauptstromrichtung minimal ausgeführte Prallfläche auch möglichst geringe Wandwärmeverluste erzielt, wodurch wiederum der thermodynamische Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors maximiert wird.

[128] Ähnlich wie die bereits vorstehend beschriebene Leitfläche kann wiederum die Prallfläche unter Zuhilfenahme des spitzen Winkels angeordnete und derart in die Strömung des Brennmittels gesetzt werden, dass die Prallfläche, sofern die Strömung nicht senkrecht zum Steuerkolben bzw. zur Längsachse des Steuerkolbens erfolgt, eine minimale Oberfläche gegenüber der Strömung aufweist. Eine minimal ausgeführte Prallfläche ergibt wiederum den Vorteil,
25 dass Wandwärmeverluste einerseits verringert werden und das ungünstige Umlenkungen der

Strömung unter Bildung von Wirbeln minimiert werden und der thermodynamische Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors entsprechend maximiert wird.

[129] Die Leitfläche und/oder die Prallfläche können eine ebene Fläche, eine sphärische Fläche, eine zylindrische Fläche oder eine kegelige Fläche sein. Eine ebene Ausgestaltung der Leitfläche und/oder der Prallfläche bringt den Vorteil, dass einerseits der Steuerkolben besonders einfach und kostengünstig hergestellt werden kann, und dass andererseits eine mit der Leitfläche zusammenwirkende Dichtfläche ebenfalls konstruktiv einfach ausgeführt werden kann und eine maximale Dichtwirkung an dieser Leitfläche erfolgt. Eine sphärische Ausgestaltung der Leitfläche und/oder der Prallfläche bringt weiterhin den Vorteil, dass diese Leitfläche an den hieran folgenden Kanal geometrisch besonders gut angepasst ist, sofern der Kanal ebenfalls einen kreisförmigen oder aber auch elliptischen Querschnitt aufweist. Somit entstehen an dem Übergang vom Steuerkolben bzw. von der Leitfläche des Steuerkolbens zum Kanal keine ungewünschten Abrissströmungen oder Turbulenzen. Ebenso kann eine zylindrische Leitfläche und/oder Prallfläche den Vorteil umsetzen, dass an einem Übergang zwischen dem Steuerkolben und dem Kanal oder aber auch einem Übergang zwischen dem Steuerkolben und der Brennkammer eine Strömung unter Vermeidung von Strömungsabrissen oder Turbulenzen erfolgen kann. Alternativ kann eine kegelige Fläche an der Leitfläche und/oder an der Prallfläche ebenso vorteilhaft sein, sofern der an den Steuerkolben folgende Kanal einen über die Länge des Kanals veränderlichen Querschnitt aufweist. Sollte der Kanal als Diffusor oder als Düse ausgebildet sein, kann durch eine kegelig ausgebildete Leitfläche am Steuerkolben die Strömung wiederum ohne Abriss oder ohne Turbulenzen erfolgen. Es versteht sich, dass jede vorherstehend erläuterte Maßnahme für sich auch unabhängig von den anderen Maßnahmen wirkungsgradmaximierend wirkt.

[130] Der Axialkolbenmotor kann zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe eine Leitflächendichtfläche aufweisen, wobei die Leitflächendichtfläche parallel zur Leitfläche ausgebildet ist und in einem oberen Totpunkt des Steuerkolbens mit der Leitfläche zusammenwirkt. Da dem Steuerkolben in seinem oberen Totpunkt auch eine Dichtwirkung zufällt, ist die Leitflächendichtfläche vorteilhaft so ausgebildet, dass diese im oberen Totpunkt des Steuerkolbens großflächig mit der Leitfläche zusammenwirkt und somit eine Dichtwirkung erfolgt. Die maximale Dichtwirkung der Leitflächendichtfläche ist dann gegeben, wenn jeder Punkt der Leitflächendichtfläche denselben Abstand zur Leitfläche, vorzugsweise keinen Abstand zur Leitfläche,

aufweist. Eine Parallel zur Leitfläche ausgebildete Leitflächendichtfläche erfüllt diese Anforderungen unabhängig davon, welche Geometrie die Leitfläche aufweist.

[131] Kumulativ hierzu wird vorgeschlagen, dass die Leitflächendichtfläche kanalseitig in eine Oberfläche senkrecht zur Längsachse des Steuerkolbens übergeht. Der Übergang der Leitflächendichtfläche in eine senkrecht zur Längsachse des Steuerkolbens stehenden Oberfläche kann in einer einfachsten Ausführung auch in einem Knick bestehen, wodurch die Strömung, welche über die Leitflächendichtfläche strömt, an diesem Knick bzw. an diesem Überhang abreißen kann, sodass die Strömung des Brennmittels mit möglichst geringen Strömungsverlusten in den an den Steuerkolben folgenden Kanal übergehen kann.

[132] Alternativ bzw. kumulativ zu den vorstehenden Merkmalen wird vorgeschlagen, dass der Axialkolbenmotor zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe ein Schaftdichtfläche aufweist wobei die Schaftdichtfläche parallel zur Längsachse des Steuerkolbens ausgebildet ist und mit einer Oberfläche eines Schaftes des Steuerkolbens zusammenwirkt. Sofern der Steuerkolben seinen oberen Totpunkt erreicht, fällt dem Steuerkolben nicht nur die Aufgabe zu, zur Brennkammer hin abzudichten, sondern es erfolgt vorteilhaft auch eine Abdichtung gegenüber der Expanderstufe, welche durch das Zusammenwirken des Schaftes des Steuerkolbens und der entsprechenden Schaftdichtfläche erfolgt. Leckageverluste über den Steuerkolben werden hierdurch nochmals verringert, wodurch der Gesamtwirkungsgrad des Axialkolbenmotors wiederum maximiert werden kann.

[133] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass die Leitfläche, die Prallfläche, die Leitflächendichtfläche, die Schaftdichtfläche und/oder die Oberfläche des Schaftes des Steuerkolbens eine verspiegelte Oberfläche aufweist. Da jede dieser Oberflächen mit Brennmittel in Kontakt stehen kann, kann auch über jede dieser Flächen ein Wandwärmestrom und mithin ein Wirkungsgradverlust erfolgen. Eine verspiegelte Oberfläche verhindert somit unnötige Verluste durch Wärmestrahlung und setzt somit den Vorteil um den thermodynamischen Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors entsprechend zu steigern.

[134] Die Eingangs aufgeführte Aufgabe wird ebenfalls durch ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers eines Axialkolbenmotors gelöst, welcher eine wenigstens einen Zylinder umfassende Verdichterstufe, eine wenigstens einen Zylinder umfassende Expanderstufe und

wenigstens eine Brennkammer zwischen der Verdichterstufe sowie der Expanderstufe aufweist, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist, wobei der Wärmeübertrager wenigstens eine den wärmeabgebenden Teil von dem wärmeaufnehmenden Teil des Wärmeübertragers abgrenzende Wandung eines Rohres zur Trennung zweier Stoffströme umfasst und wobei sich das Herstellungsverfahren dadurch auszeichnet, dass das Rohr in wenigstens einer aus einem dem Rohr entsprechenden Werkstoff bestehenden Matrize angeordnet und stoffschlüssig und/oder kraftschlüssig mit dieser Matrize verbunden wird.

- 10 [135] Die Verwendung eines Wärmeübertrages in einem vorstehend erläuterten Axialkolbenmotor kann durch das Auftreten besonders hoher Temperaturdifferenzen zwischen dem Eingang und zwischen dem Ausgang des Wärmeübertragers einerseits und zwischen dem wärmeaufnehmenden und wärmeabgebenden Teil des Wärmeübertrages andererseits zu Nachteilen aufgrund einer die Lebensdauer begrenzenden Schädigung des Werkstoffes führen. Um hieraus resultierenden Wärmespannungen und durch eine Schädigung auftretenden Verluste an Brennmittel oder Abgas zu begegnen, kann bei geeigneter Ausgestaltung ein Wärmeübertrager nach
- 15 vorstehend beschriebenem Vorschlag vorteilhaft an seinen einer kritischen Spannung unterworfenen Stellen fast ausschließlich aus lediglich einem Werkstoff hergestellt werden. Selbst wenn letzteres nicht der Fall ist, werden durch die vorstehend beschriebene Lösung Materialspannungen vorteilhaft reduziert.
- 20

[136] Es versteht sich, dass ein verwendetes Lot oder andere zur Befestigung oder Montage des Wärmeübertragers verwendete Mittel aus einem anderen Werkstoff bestehen können, insbesondere dann, wenn es sich nicht um Bereiche mit einer hohen thermischen Beanspruchung oder mit einer hohen Anforderung an Dichtigkeit handelt.

- 25 [137] Denkbar ist auch die Verwendung zweier oder mehrerer Werkstoffe mit demselben thermischen Ausdehnungskoeffizienten, wodurch in ähnlicher Weise dem Auftreten von thermischen Spannungen im Werkstoff begegnet werden kann.

[138] Zur Erstellung einer stoffschlüssigen und/oder kraftschlüssigen Verbindung zwischen dem Rohr und der Matrize wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines

Wärmeübertragers vorgeschlagen, welches sich dadurch auszeichnet, dass der Stoffschluss zwischen dem Rohr und der Matrize durch Schweißen oder Löten erfolgt. Durch ein derartiges Verfahren wird in einfacher Art und Weise und besonders vorteilhaft die Dichtigkeit eines Wärmeübertrages sichergestellt. Es ist hierbei auch möglich als Schweiß- oder Lötwerkstoff
5 wiederum einen dem Rohr oder der Matrize entsprechenden Werkstoff zu verwenden.

[139] Der Kraftschluss zwischen dem Rohr und der Matrize kann alternativ bzw. kumulativ hierzu durch Schrumpfen erfolgen. Dieses hat wiederum den Vorteil, dass Wärmespannungen zwischen dem Rohr und der Matrize verhindert werden können, indem die Verwendung eines vom Werkstoff des Rohres bzw. der Matrize unterschiedlichen Werkstoffes, beispielsweise bei
10 einer stoffschlüssigen Verbindung, vermieden wird. Auch kann die entsprechende Verbindung dann schnell und betriebssicher bereitgestellt werden.

[140] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und
15 der Expanderstufe vorgeschlagen, wobei der Axialkolbenmotor ein oszillierendes sowie einen Strömungsquerschnitt freigebendes Gaswechselventil umfasst und das Gaswechselventil diesen Strömungsquerschnitt mittels einer an dem Gaswechselventil angreifenden Federkraft der Ventulfeder verschließt und wobei sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass das
20 Gaswechselventil eine Prallfeder aufweist. Selbsttätige, also nichtnockenbetätigte, Gaswechselventile, welche bei einer anstehenden Druckdifferenz öffnen, können, wenn die anliegende Druckdifferenz eine sehr hohe Öffnungskraft bewirkt, derart stark beschleunigt werden, dass entweder die Ventulfeder des Gaswechselventils auf Block geht, der Ventulfederteller oder aber auch ein vergleichbarer Stützring auf ein anderes Bauteil aufprallt. Solch ein unzulässiger und unerwünschter Kontakt zwischen zwei Bauteilen kann sehr schnell zu der Zerstörung eines die-
25 ser Bauteile führen. Um ein Aufsetzen des Ventulfedertellers wirksam zu vermeiden, ist folglich vorteilhaft eine weitere als Prallfeder ausgeführte Feder vorgesehen, welche überschüssige kinetische Energie des Gaswechselventils abbaut und das Gaswechselventil bis zum Stillsand abbremsst.

[141] Insbesondere kann die Prallfeder eine kleinere Federlänge als eine Federlänge der Ventulfeder aufweisen. Sofern die beiden Federn, die Ventulfeder und die Prallfeder, eine gemein-
30

same Auflagefläche aufweisen wird die Prallfeder vorteilhaft so ausgeführt, dass die Federlänge der eingebauten Ventildfeder stets kürzer ist als die Federlänge der Prallfeder, sodass die Ventildfeder bei Öffnen des Gaswechselventils zunächst ausschließlich die zum Schließen des Gaswechselventils erforderlichen Kräfte aufbringt und nach Erreichen des maximal vorgesehenen Ventilhubes die Prallfeder in Kontakt mit dem Gaswechselventil kommt, um sogleich ein weiteres Öffnen des Gaswechselventils zu verhindern.

[142] Kumulativ hierzu kann die Federlänge der Prallfeder der um einen Ventilhub des Gaswechselventils verringerten Federlänge der Ventildfeder entsprechen. Zweckmäßig und vorteilhaft wird hierbei der Umstand ausgenutzt, dass der Unterschied der Federlängen beider Federn gerade dem Betrag des Ventilhubes entspricht.

[143] Der Begriff „Ventilhub“ bezeichnet hierbei den Hub des Gaswechselventils, ab welchem der durch das Gaswechselventil freigegebene Strömungsquerschnitt annähernd ein Maximum erreicht. Ein im Motorenbau üblicherweise verwendetes Tellerventil weist in der Regel bei geringer Öffnung einen linear ansteigenden geometrischen Strömungsquerschnitt auf, welcher dann bei weiterer Öffnung des Ventils in eine Gerade mit konstantem Wert übergeht. Der maximale geometrische Öffnungsquerschnitt wird üblicherweise erreicht, wenn der Ventilhub 25 % des inneren Ventilsitzdurchmessers erreicht. Der innere Ventilsitzdurchmesser ist der kleinste am Ventilsitz vorhandene Durchmesser.

[144] Der Begriff „Federlänge“ bezeichnet hierbei die maximal mögliche Länge der Prallfeder oder der Ventildfeder in eingebautem Zustand. So entspricht die Federlänge der Prallfeder genau der Federlänge im ungespannten Zustand und die Federlänge der Ventildfeder gerade der Länge, welche die Ventildfeder in eingebautem Zustand bei geschlossenem Gaswechselventil aufweist.

[145] Es wird alternativ oder kumulativ hierbei weiterhin vorgeschlagen, dass die Federlänge der Prallfeder einer um einen Federweg der Prallfeder erhöhten Höhe einer Ventilführung entspricht. Dies hat den Vorteil, dass eine Ventilführung, aber auch jedes andere feststehende Bauteil, welches in Kontakt mit einem bewegten Bauteil der Ventilsteuerung kommen kann, gerade nicht in Kontakt mit einem bewegten Bauteil der Ventilsteuerung kommt, da die Prallfeder auch bei Erreichen des vorgesehenen Federweges gerade nicht soweit gestaucht wird, dass es zu einem Kontakt kommt.

[146] Der Begriff „Federweg“ bezeichnet hierbei die Federlänge abzüglich der Länge der Feder, welche bei maximaler Belastung vorliegt. Die maximale Belastung definiert sich wiederum über die rechnerische Auslegung des Ventiltriebes, inklusive einem Sicherheitsfaktor. Somit ist der Federweg gerade die Länge, um welche sich die Feder staucht, wenn die in Betrieb
5 des Axialkolbenmotors auftretende maximale Belastung bzw. der im Betrieb des Axialkolbenmotors maximal vorgesehene Ventilhub, bei außergewöhnlicher Belastung, auftritt. Der maximale Ventilhub bezeichnet hierbei den oben definierten Ventilhub zuzüglich eines Hubes des Gaswechselventiles, bei welchem ein Kontakt zwischen einem bewegten Bauteil und einem feststehenden Bauteil gerade auftritt.

10 [147] Anstelle einer Ventilführung kann auch jedes andere Bauteil treten, welches in Kontakt mit bewegten Teilen des Ventiltriebes kommen kann.

[148] Weiterhin kann die Prallfeder bei Erreichen des Federweges der Prallfeder eine potentielle Energie aufweisen, welche der maximalen betriebsbedingten kinetischen Energie des Gaswechselventils bei einem Freigeben des Strömungsquerschnittes entspricht. Vorteilhaft wird
15 gerade bei Erfüllung dieser physikalischen bzw. kinetischen Bedingung ein Abbremsen des Gaswechselventils erreicht, genau dann, wenn es zu einem Kontakt zwischen zwei Bauteilen gerade nicht kommt. Die maximale, betriebsbedingte kinetische Energie ist, wie weiter oben ausgeführt, die Bewegungsenergie des Gaswechselventils, welche bei rechnerischer Auslegung des Ventiltriebes inklusive einer Sicherheit auftreten kann. Die maximale, betriebsbedingte kinetische Energie wird bedingt durch die maximal am Gaswechselventil anliegenden Drücke bzw.
20 Druckdifferenzen, wodurch das Gaswechselventil aufgrund seiner Masse beschleunigt wird und nach Abklingen dieser Beschleunigung eine maximale Bewegungsgeschwindigkeit erhält. Überschüssige, im Gaswechselventil gespeicherte kinetische Energie wird über die Prallfeder aufgenommen, sodass die Prallfeder gestaucht wird und eine potentielle Energie aufweist. Bei
25 Erreichen des Federweges der Prallfeder bzw. bei maximal vorgesehener Stauchung der Prallfeder ist ein Abbau der kinetischen Energie des Gaswechselventils bzw. der Ventilgruppe auf den Betrag null vorteilhaft, damit es gerade nicht zu einem Kontakt zwischen zwei Bauteilen kommt. Der Begriff „maximal, betriebsbedingte kinetische Energie“ beinhaltet daher ebenfalls die kinetischen Energien aller mit dem Gaswechselventile bewegten Bauteile, wie etwa den
30 Ventilkeilen, Ventildertellern oder Ventildedern.

[149] Weitere Vorteile, Ziele und Eigenschaften vorliegender Erfindung werden anhand nachfolgender Beschreibung anliegender Zeichnung erläutert, in welcher beispielhaft verschiedene Axialkolbenmotoren und deren Baugruppen dargestellt sind.

Es zeigen:

- 5 Figur 1 eine schematische Schnittdarstellung eines ersten Axialkolbenmotors;
Figur 2 eine schematische Aufsicht auf den Axialkolbenmotor nach Fig. 1;
Figur 3 eine schematische Aufsicht auf einen zweiten Axialkolbenmotor in ähnlicher
Darstellung wie Fig. 2;
Figur 4 eine schematische Schnittdarstellung eines dritten Axialkolbenmotors in ähnli-
10 cher Darstellung wie Fig. 1;
Figur 5 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Axialkolbenmotors mit
einem Vorbrennertemperatursensor und zwei Abgastemperatursensoren;
Figur 6 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Axialkolbenmotors mit
einer als Druckraum ausgebildeten Steuerkammer, einem Ausschnitt des Öl-
15 kreislaufes und eine alternative Ausgestaltung der Steuerkolben;
Figur 7 eine schematische Schnittdarstellung eines weiteren Axialkolbenmotors mit
einer als Druckraum ausgebildeten Steuerkammer, einem Ausschnitt des Öl-
kreislaufes und eine alternative Ausgestaltung der Steuerkolben;
Figur 8 eine schematische Darstellung eines Ölkreislaufes für einen Axialkolbenmotor
20 mit einem Druckölkreislauf;
Figur 9 eine schematische Darstellung eines Flansches für einen Wärmeübertrager mit
einer hierin angeordneten Matrize zur Aufnahme für Rohre eines
Wärmeübertragers;
Figur 10 eine schematische Schnittdarstellung eines Gaswechselventils mit einer Ventil-
25 feder und einer Prallfeder; und
Figur 11 eine weitere schematische Schnittdarstellung eines Gaswechselventils mit einer
Ventilfeder und einer Prallfeder.

[150] Der in Figuren 1 und 2 dargestellte Axialkolbenmotor 201 weist eine kontinuierlich
arbeitende Brennkammer 210 auf, aus welcher sukzessive Arbeitsmedium über Schusskanäle
30 215 (exemplarisch beziffert) Arbeitszylindern 220 (exemplarisch beziffert) zugeführt wird.

[151] Ein diesbezüglicher Arbeitsmediumstrom bzw. Brennstoffstrom innerhalb eines der Schusskanäle 215 von der Brennkammer 210 zu dem jeweiligen Arbeitszylinder 220 hin wird mittels eines Steuerkolbens (hier nicht explizit gezeigt) gesteuert, der von einem Steuertrieb (hier nicht explizit gezeigt) angetrieben wird.

5 [152] Vorteilhafter Weise wird der Steuerkolben neben der vom Steuertrieb aufgebrachten Kraft zusätzlich noch mit einer einem Brennkammerdruck entgegen gerichteten Kompensationskraft beaufschlagt, sodass der Steuertrieb konstruktiv besonders einfach ausgeführt werden kann. Die Kompensationskraft kann pneumatisch anhand des vorliegenden Verdichterzylinderdrucks konstruktiv mit besonders geringem Aufwand erzeugt werden.

10 [153] Insbesondere die Abdichtung an dem jeweiligen Steuerkolben kann außergewöhnlich einfach vorgenommen werden, wenn sich der Steuerkolben in einem Druckraum befindet, in welchem ähnliche Druckverhältnisse vorliegen wie in der Brennkammer 210. Idealerweise wird hierbei eine ausreichende Dichtigkeit bereits mittels einer reinen Ölabstreifung erzielt.

[154] Um die bewegten Massen auch hinsichtlich des vorliegenden Steuerkolbens vorteilhaft
15 reduzieren zu können, weist der Steuerkolben zudem Querverstrebungen auf und ist zumindest hinsichtlich seines Kolbenschaftes aus Aluminium hergestellt. Im Bereich des Kolbenbodens besteht der Steuerkolben brennkammerseitig jedoch aus einer Eisenlegierung, um selbst sehr hohen Brennstofftemperaturen besser standhalten zu können.

[155] Alternativ kann der Steuerkolben auch aus einer Stahllegierung hergestellt sein, sodass
20 Festigkeits- und/oder Steifigkeitsprobleme sowie thermische Schwierigkeiten noch unwahrscheinlicher auftreten können als hinsichtlich einer Aluminiumlegierung.

[156] In den Arbeitszylindern 220 sind jeweils Arbeitskolben 230 (exemplarisch beziffert)
angeordnet, welche über eine geradlinige Pleuelstange 235 einerseits mit einem Abtrieb, welcher bei diesem Ausführungsbeispiel als ein eine Kurvenbahn 240 tragender, auf einer
25 Abtriebswelle 241 angeordneten Abstandhalter 242 realisiert ist, und andererseits mit einem Verdichterkolben 250 verbunden sind, welcher jeweils in weiter unten näher erläuteter Art und Weise in dem Verdichterzylinder 260 läuft.

- [157] Die Pleuelstange 235 weist Querversteifungen (hier nicht beziffert) auf, sodass sie insgesamt sehr schlank bzw. weniger massig ausgebildet ist als bisher an Axialkolbenmotoren eingesetzte Pleuelstangen. Durch die Querversteifungen kann eine an der Pleuelstange 235 vorgenommene Massereduzierung ausgeglichen werden, wodurch die Pleuelstange 235 hinsichtlich ihrer Steifigkeit und Festigkeit nicht nachteilig beeinflusst ist. Darüber hinaus ist die Pleuelstange 235 aus einer Aluminiumlegierung hergestellt, wodurch eine weitere Gewichtsreduzierung erreicht ist. Wie unmittelbar ersichtlich kann die Pleuelstange 235 antriebskolbenseitig als Antriebspleuel und verdichterseitig als Verdichterpleuel bezeichnet, werden, wobei Arbeitspleuel und Verdichterpleuel einstückig miteinander verbunden sind.
- [158] Aber nicht nur die Pleuelstange 235 ist mit Querversteifungen ausgestattet sondern ebenso der Arbeitskolben 230 und der Verdichterkolben 250, sodass hinsichtlich bewegter Massen des Axialkolbenmotors 201 eine weitere wesentliche Gewichtsreduzierung erzielt werden kann. Um selbst höheren thermischen Belastungen besser begegnen zu können, weisen die Arbeitskolben 230 an ihren Zylinderböden jeweils einen Brennschutz aus einer Eisenlegierung auf.
- [159] Mittels der querversteiften Pleuelstangen 235, der querversteiften Arbeitskolben 230 und der querversteiften Verdichterkolben 250 ist an dem Axialkolbenmotor 201 eine an herkömmlichen Axialkolbenmotoren bisher noch nicht gekannter Leichtbau konsequent umgesetzt. Alle Querversteifungen sind hierbei als Verstärkungsstreben ausgebildet.
- [160] Nachdem das Arbeitsmedium in dem Arbeitszylinder 220 seine Arbeit geleistet und den Arbeitskolben 230 entsprechend belastet hat, wird das Arbeitsmedium aus dem Arbeitszylinder 220 über Abgaskanäle 225 ausgestoßen. An den Abgaskanälen 225 sind nicht dargestellte Temperatursensoren vorgesehen, welche die Temperatur des Abgases messen.
- [161] Die Abgaskanäle 225 münden jeweils in Wärmeübertrager 270 und verlassen anschließend den Axialkolbenmotor 201 an entsprechenden Auslässen 227 in an sich bekannter Weise. Die Auslässe 227 können insbesondere ihrerseits wieder mit einem nicht dargestellten Ringkanal verbunden werden, so dass das Abgas letztlich den Motor 201 lediglich an einer oder zwei Stellen verlässt. Je nach konkreter Ausgestaltung, insbesondere der Wärmeübertrager 270, kann gegebenenfalls auch auf einen Schalldämpfer verzichtet werden, da die Wärmeübertrager 270 selbst bereits eine schalldämpfende Wirkung haben.

[162] Die Wärmeübertrager 270 dienen dazu Brennmittel, welches in den Verdichterzylindern 260 durch die Verdichterkolben 250 verdichtet und durch eine Druckleitung 255 zu der Brennkammer 210 geleitet wird, vorzuwärmen. Die Verdichtung erfolgt dabei in an sich bekannter Weise, indem Zuluft über Zuleitungen 257 (exemplarisch beziffert) von den Verdichterkolben 250 angesaugt und in den Verdichterzylindern 260 verdichtet wird. Hierzu finden an sich bekannte und ohne Weiteres entsprechend einsetzbare Ventilsysteme Anwendung.

[163] Wie unmittelbar aus Figur 2 ersichtlich, weist der Axialkolbenmotor 201 zwei Wärmeübertrager 270 auf, die jeweils axial im Bezug auf den Axialkolbenmotor 201 angeordnet sind. Durch diese Anordnung lassen sich die Wege, welche das Abgas durch die Abgaskanäle 225 bis zu den Wärmeübertragern 270 jeweils durchlaufen muss, gegenüber Axialkolbenmotoren aus dem Stand der Technik erheblich reduzieren. Dieses hat zur Folge, dass letztlich das Abgas mit einer wesentlich höheren Temperatur den jeweiligen Wärmeübertrager 270 erreicht, so dass letztlich auch das Brennmittel auf entsprechend höhere Temperaturen vorgewärmt werden kann. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass durch eine derartige Ausgestaltung mindestens 20 % Kraftstoff eingespart werden kann. Hierbei wird davon ausgegangen, dass durch eine optimierte Auslegung sogar Einsparungen bis zu 30 % oder darüber möglich sind.

[164] Darüber hinaus sind die Wärmeübertrager mit einer hier nicht dargestellten Wärmeisolation aus Asbestersatz isoliert. Hierdurch ist gewährleistet, dass bei diesem Ausführungsbeispiel die Außentemperatur des Axialkolbenmotors im Bereich der Wärmeübertrager 270 bei nahezu allen Betriebszuständen 450 °C nicht übersteigt. Ausnahmen bilden nur Überlastsituationen, die ohnehin nur kurzzeitig auftreten. Hierbei ist die Wärmeisolation darauf ausgelegt, an der heißesten Stelle des Wärmeübertragers einen Temperaturgradienten von 350 °C zu gewährleisten.

[165] In diesem Zusammenhang versteht es sich, dass der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors 201 durch weitere Maßnahmen erhöht werden kann. So kann das Brennmittel beispielsweise in an sich bekannter Weise zur Kühlung bzw. thermischen Isolierung der Brennkammer 210 genutzt werden, wodurch es noch weiter in seiner Temperatur erhöht werden kann, bevor es in die Brennkammer 210 gelangt. Hierbei sei betont, dass die entsprechende Temperierung einerseits lediglich auf Komponenten des Brennmittels beschränkt sein kann, wie dieses bei vorliegendem Ausführungsbeispiel in Bezug auf Verbrennungsluft der Fall ist. Auch ist es denkbar,

der Verbrennungsluft bereits vor oder während der Verdichtung Wasser aufzugeben, dieses ist jedoch ohne Weiteres auch im Nachhinein, beispielsweise in der Druckleitung 255 möglich.

[166] Besonders bevorzugt erfolgt eine Aufgabe von Wasser in den Verdichterzylinder 260 während eines Saughubes des entsprechenden Verdichterkolbens 250, was eine isotherme Verdichtung bzw. eine einer isothermen Verdichtung möglichst angenäherte Verdichtung bedingt. Wie unmittelbar ersichtlich umfasst ein Arbeitszyklus des Verdichterkolbens 250 jeweils einen Saughub und einen Verdichtungshub, wobei während des Saughubs Brennmittel in den Verdichterzylinder 260 gelangt, welcher dann während des Verdichtungshubes komprimiert, also verdichtet, und in die Druckleitung 255 gefördert wird. Durch die Aufgabe von Wasser während des Saughubes kann eine gleichförmige Verteilung des Wassers auf betrieblich einfache Weise gewährleistet werden.

[167] Ebenso ist es denkbar, bereits den Kraftstoff entsprechend zu temperieren, wobei dieses nicht zwingend notwendig ist, da die Kraftstoffmenge im Bezug auf die Verbrennungsluft in der Regel verhältnismäßig gering ist und somit sehr schnell auf hohe Temperaturen gebracht werden kann.

[168] Ebenso kann die Aufgabe von Wasser in dieser Ausgestaltung in die Druckleitung 255 erfolgen, wobei innerhalb des Wärmetauschers durch eine geschickte Umlenkung der Strömung sich das Wasser gleichmäßig mit dem Brennmittel vermischt. Auch kann der Abgaskanal 225 für die Aufgabe von Wasser oder einem anderen Fluid, wie Kraftstoff oder Mittel zur Abgasnachbehandlung, gewählt werden, um eine homogene Durchmischung innerhalb des Wärmeübertragers 270 zu gewährleisten. Die Ausgestaltung des gezeigten Wärmeübertragers 270 erlaubt weiterhin die Nachbehandlung des Abgases im Wärmeübertrager selbst, wobei durch die Nachbehandlung freigesetzte Wärme unmittelbar dem in der Druckleitung 255 befindlichen Brennmittel zugeführt wird. Im Auslass 227 ist ein nicht dargestellter Wasserabscheider angeordnet, welcher das im Abgas befindliche kondensierte Wasser dem Axialkolbenmotor 201 für eine erneute Aufgabe zurückführt. Der Wasserabscheider kann selbstverständlich in Verbindung mit einem Kondensator ausgeführt werden. Weiterhin ist selbstverständlich die Verwendung bei ähnlich ausgeführten Axialkolbenmotoren möglich, wobei die übrigen vorteilhaften Merkmale an dem Axialkolbenmotor 201 oder an ähnlichen Axialkolbenmotoren auch ohne Verwendung eines Wasserabscheiders im Auslass 227 vorteilhaft sind.

[169] Der in Figur 3 dargestellte Axialkolbenmotor 301 entspricht in seinem Aufbau und in seiner Funktionsweise im Wesentlichen dem Axialkolbenmotor 201 nach Figuren 1 und 2. Aus diesem Grunde wird auf eine Detailbeschreibung verzichtet, wobei in Figur 3 ähnlich wirkende Baugruppen auch mit ähnlichem Bezugszeichen versehen sind und lediglich in der ersten Ziffer
5 voneinander abweichen.

[170] Auch der Axialkolbenmotor 301 weist eine zentrale Brennkammer 310 auf, aus welcher über Schusskanäle 315 (exemplarisch beziffert) Arbeitsmedium im Arbeitszylinder 320 entsprechend der Arbeitsfolge des Axialkolbenmotors 301 geleitet werden kann. Ein Brennmittelstrom durch die Schusskanäle 315 hindurch wird mit entsprechenden Steuerkolben und Steuertrieben
10 gesteuert, wie dies hinsichtlich des Axialkolbenmotors 201 beschrieben ist.

[171] Das Arbeitsmedium wird, nachdem es seine Arbeit geleistet hat, über Abgaskanäle 325 jeweils Wärmeübertragern 370 zugeführt. Hierbei weist der Axialkolbenmotor 301 in Abweichung von dem Axialkolbenmotor 201 je einen Wärmeübertrager 370 für genau zwei Arbeitszylinder 320 auf, wodurch sich die Länge der Kanäle 325 auf ein Minimum reduzieren lässt. Wie
15 unmittelbar ersichtlich, sind bei diesem Ausführungsbeispiel die Wärmeübertrager 370 teilweise in den Gehäusekörper 305 des Axialkolbenmotors 301 eingelassen, was zu einer noch kompakteren Bauweise als die Bauweise des Axialkolbenmotors 201 nach Figuren 1 und 2 führt. Hierbei ist das Maß, wie weit die Wärmeübertrager 370 in den Gehäusekörper 305 eingelassen werden können, durch die Möglichkeit der Anordnung weiterer Baugruppen, wie beispielsweise
20 einer Wasserkühlung für die Arbeitszylinder 220 begrenzt.

[172] Auch der in Figur 4 dargestellte Axialkolbenmotor 401 entspricht im Wesentlichen den Axialkolbenmotoren 201 und 301 nach Figuren 1 bis 3. Dementsprechend sind auch identisch bzw. ähnlich wirkende Baugruppen ähnlich beziffert und unterscheiden sich lediglich durch die erste Stelle. Im Übrigen wird dementsprechend auch bei diesem Ausführungsbeispiel auf eine
25 Detailerläuterung der Wirkungsweise verzichtet, da dieses bereits im Bezug auf den Axialkolbenmotor 201 nach Figuren 1 und 2 geschehen ist.

[173] Der Axialkolbenmotor 401 umfasst ebenfalls einen Gehäusekörper 405, an welchem eine kontinuierlich arbeitende Brennkammer 410, sechs Arbeitszylinder 420 sowie sechs Verdichterzylinder 460 vorgesehen sind. Hierbei ist die Brennkammer 410 jeweils über Schuss-

kanäle 415 mit den Arbeitszylindern 420 verbunden, so dass letzteren entsprechend der Taktfolge des Axialkolbenmotors 401 Arbeitsmedium den Arbeitszylindern 420 zugeführt werden kann.

5 [174] Nach getaner Arbeit verlässt das Arbeitsmedium die Arbeitszylinder 420 jeweils durch Abgaskanäle 425, welche zu Wärmeübertragern 470 führen, wobei diese Wärmeübertrager 470 identisch den Wärmeübertragern 270 des Axialkolbenmotors 201 nach Figuren 1 und 2 (siehe insbesondere Figur 2) angeordnet sind. Das Arbeitsmedium verlässt die Wärmeübertrager 470 durch Auslässe 427 (exemplarisch beziffert).

10 [175] In den Arbeitszylindern 420 bzw. den Verdichterzylindern 460 sind jeweils Arbeitskolben 430 bzw. Verdichterkolben 450 angeordnet, welche über eine starre Pleuelstange 435 mit einander verbunden sind.

[176] Die Arbeitskolben 430 und die Verdichterkolben 450 sind gewichtsoptimiert, daher mit einer geringeren Masse beschwert und aus Festigkeitsgründen dementsprechend mit Querversteifungen (hier nicht explizit gezeigt) ausgestattet, wie dies bereit hinsichtlich des ersten Axialkolbenmotors 201 aus den Figuren 1 und 2 hinreichend beschrieben ist.

15 [177] Zur weiteren Gewichtsreduzierung bestehen die Kolben 430 und 450 aus einer Aluminiumlegierung. Insbesondere die Arbeitskolben 430 umfassen brennkammerseitig jeweils einen Brennschutz (hier nicht explizit beziffert) aus Eisen, sodass sie besonders temperaturresistent sind. Auch die Verdichterkolben 450 können jeweils mit einem solchen Brennschutz hergestellt werden.

[178] Die Pleuelstange 435 umfasst in an sich bekannter Weise eine Kurvenbahn 440, welche auf einem Abstandhalter 424 vorgesehen ist, welcher letztlich eine Abtriebswelle 441 antreibt. Vorteilhafter Weise ist die Pleuelstange 435 mit Querversteifungen (hier nicht explizit gezeigt) versehen, sodass auch sie mit weniger Material und somit gewichtsreduziert gebaut ist.

25 [179] Auch bei diesem Ausführungsbeispiel wird Verbrennungsluft über Zuleitungen 457 angesaugt und in den Verdichterzylindern 460 verdichtet, um über Druckleitungen 455 der Brennkammer 410 aufgegeben zu werden, wobei die bei den vorgenannten Ausführungsbeispielen genannten Maßnahmen je nach konkreter Umsetzung ebenfalls vorgesehen sein können.

[180] Ergänzend sind bei dem Axialkolbenmotor 401 die Druckleitungen 455 über einen Ringkanal 456 miteinander verbunden, wodurch sich in an sich bekannter Weise ein gleichförmiger Druck in sämtlichen Druckleitungen 455 gewährleisten lässt. Zwischen dem Ringkanal 456 und den Druckleitungen 455 sind jeweils Ventile 485 vorgesehen, wodurch sich der Zufluss an Brennmittel durch die Druckleitungen 455 regeln bzw. einstellen lässt. Darüber hinaus ist an dem Ringkanal 456 ein Brennmittelspeicher 480 über eine Speicherleitung 481 angeschlossen, in welcher ebenfalls ein Ventil 482 angeordnet ist.

[181] Die Ventile 482 und 485 können je nach Betriebszustand des Axialkolbenmotors 401 geöffnet oder geschlossen werden. So ist es beispielsweise denkbar, eines der Ventile 485 zu schließen, wenn der Axialkolbenmotor 401 weniger Brennmittel benötigt. Ebenso ist es denkbar, sämtliche Ventile 485 in derartigen Betriebssituationen teilweise zu schließen und diese als Drossel wirken zu lassen. Der Überschuss an Brennmittel kann dann dem Brennmittelspeicher 480 bei geöffnetem Ventil 482 zugeführt werden. Letzteres ist insbesondere auch dann möglich, wenn der Axialkolbenmotor 401 im Schubetrieb läuft, d. h. überhaupt kein Brennmittel benötigt sondern über die Abtriebswelle 441 angetrieben wird. Der durch die in einer derartigen Betriebssituation auftretende Bewegung der Verdichterkolben 450 bedingte Überschuss an Brennmittel kann dann ebenfalls ohne Weiteres in den Brennmittelspeicher 480 gespeichert werden.

[182] Das auf diese Weise gespeicherte Brennmittel kann dem Axialkolbenmotor 401 bei Bedarf, insbesondere also bei Anfahr- oder Beschleunigungssituationen sowie zum Starten, ergänzend zugeführt werden, so dass ohne zusätzliche oder schnellere Bewegungen der Verdichterkolben 450 ein Überschuss an Brennmittel bereitgestellt wird.

[183] Ggf. kann, um letzteres zu gewährleisten, auch auf die Ventile 482 und 485 verzichtet werden. Durch unvermeidliche Leckagen scheint ein Verzicht auf derartige Ventile für eine dauerhafte Speicherung verdichteten Brennmittels wenig geeignet.

[184] In einer dem Axialkolbenmotor 401 alternativen Ausführungsform kann auf den Ringkanal 456 verzichtet werden, wobei dann – ggf. über ein Ringkanalstück – die Auslässe der Verdichterzylinder 460 entsprechend der Zahl der Druckleitungen 455 zusammengefasst werden. Bei einer derartigen Ausgestaltung kann es ggf. sinnvoll sein, lediglich eine der Drucklei-

tungen 455 bzw. nicht sämtliche Druckleitungen 455 mit dem Brennmittelspeicher 480 zu verbinden bzw. verbindbar vorzusehen. Eine derartige Ausgestaltung bedingt zwar, dass im Schubbetrieb nicht sämtliche Verdichterkolben 450 den Brennmittelspeicher 480 befüllen können. Andererseits steht dann für die Brennkammer 410 ohne weitere regelungs- bzw. steuerungs-
5 technische Maßnahmen ausreichend Brennmittel zur Verfügung, dass eine Verbrennung aufrecht erhalten werden kann. Parallel hierzu wird der Brennmittelspeicher 480 über die übrigen Verdichterkolben 450 befüllt, so dass entsprechend Brennmittel bevorratet und insbesondere für Start- bzw. Anfahr- oder Beschleunigungsphasen unmittelbar zur Verfügung steht.

[185] Es versteht sich, dass der Axialkolbenmotor 401 in einer anderen hier nicht explizit
10 gezeigten Ausführungsvariante mit zwei Brennmittelspeichern 480 ausgerüstet werden kann, wobei die zwei Brennmittelspeicher 480 dann auch mit unterschiedlichen Drücken beladen werden können, sodass mit den zwei Brennmittelspeichern 480 in Echtzeit immer mit unterschiedlichen Druckintervallen gearbeitet werden kann. Vorzugsweise ist hierbei eine Druckregelung vorgesehen, die für den ersten Brennmittelspeicher 480 eine erste Druckuntergrenze und
15 eine erste Druckobergrenze und für den zweiten Brennmittelspeicher (hier nicht gezeigt) eine zweite Druckuntergrenze und eine zweite Druckobergrenze festlegt, innerhalb derer ein Brennmittelspeicher 480 mit Drücken beladen wird, wobei die erste Druckobergrenze unter der zweiten Druckobergrenze und die erste Druckuntergrenze unter der zweiten Druckuntergrenze liegt. Speziell kann die erste Druckobergrenze kleiner oder gleich der zweiten Druckuntergrenze ein-
20 gestellt werden.

[186] In den Figuren 1 bis 4 nicht dargestellt sind Temperatursensoren zur Temperaturmessung des Abgases bzw. in der Brennkammer. Als derartige Temperatursensoren kommen alle
Temperatursensoren in Frage, die betriebssicher Temperaturen zwischen 800 °C und 1.100 °C messen können. Insbesondere wenn die Brennkammer eine Vorbrennkammer und eine Haupt-
25 brennkammer umfasst, kann über derartige Temperatursensoren auch die Temperatur der Vorbrennkammer gemessen werden. Insoweit können die vorstehend beschriebenen Axialkolbenmotoren 201, 301 und 401 jeweils über die Temperatursensoren derart geregelt werden, dass die Abgastemperatur bei Verlassen der Arbeitszylinder 220, 320, 420 ungefähr 900 °C und – falls vorhanden – die Temperatur in der Vorbrennkammer ungefähr 1.000 °C beträgt.

[187] Bei dem gemäß der Darstellung nach der Figur 5 gezeigten weiteren Axialkolbenmotor 501 sind derartige Temperatursensoren in Gestalt eines Vorkammertemperatursensors 592 und zweier Abgastemperatursensoren 593 vorhanden und entsprechend schematisch dargestellt. Insbesondere mittels des Vorkammertemperatursensors 592 – welcher in diesem Ausführungsbeispiel auf Grund seiner Nähe zu einem Vorbrenner 517 des weiteren Axialkolbenmotors 501 auch als Vorbrennertemperatursensor 592 bezeichnet werden kann – wird ein aussagekräftiger Wert über die Qualität der Verbrennung bzw. hinsichtlich der Laufstabilität des weiteren Axialkolbenmotors 501 ermittelt. Beispielsweise kann eine Flammtemperatur im Vorbrenner 517 gemessen werden, um mittels einer Brennkammerregelung unterschiedliche Betriebszustände an dem weiteren Axialkolbenmotor 501 regeln zu können. Mittels der Abgastemperatursensoren 593, welche an Auslässen bzw. Abgaskanälen 525 des jeweiligen Arbeitszylinders 520 sitzen, kann kumulativ speziell der Betriebszustand der Brennkammer 510 geprüft und gegebenenfalls geregelt werden, sodass stets eine optimale Verbrennung der Brennmittel gewährleistet ist.

[188] Ansonsten entsprechen der Aufbau und die Funktionsweise des weiteren Axialkolbenmotors 501 denen der zuvor beschriebenen Axialkolbenmotoren. Insofern weist der weitere Axialkolbenmotor 501 einen Gehäusekörper 505 auf, an welchem eine kontinuierlich arbeitende Brennkammer 510, sechs Arbeitszylinder 520 sowie sechs Verdichterzylinder 560 vorgesehen sind.

[189] Innerhalb der Brennkammer 510 können Brennmittel sowohl gezündet als auch verbrannt werden, wobei die Brennkammer 510 mit Brennmitteln in der vorstehend beschriebenen Weise beschickt werden kann. Vorteilhafterweise arbeitet der weitere Axialkolbenmotor 501 mit einer Zweistufenverbrennung, wozu die Brennkammer 510 den vorstehend schon erwähnten Vorbrenner 517 und einen Hauptbrenner 518 aufweist. In den Vorbrenner 517 und in den Hauptbrenner 518 können Brennmittel eingespritzt werden, wobei insbesondere in den Vorbrenner 517 auch ein Anteil einer Verbrennungsluft des Axialkolbenmotors 501 eingeleitet werden kann, der speziell in diesem Ausführungsbeispiel kleiner als 15% der gesamten Verbrennungsluft betragen kann.

[190] Der Vorbrenner 517 weist einen kleineren Durchmesser als der Hauptbrenner 518 auf, wobei die Brennkammer 510 einen Übergangsbereich aufweist, der eine konische Kammer 513 und eine zylindrische Kammer 514 umfasst.

[191] Zum Zuleiten von Brennmitteln bzw. von Verbrennungsluft münden in die Brennkammer 510, insbesondere in die diesbezügliche konische Kammer 513, einerseits eine Hauptdüse 511 und andererseits eine Aufbereitungsdüse 512. Mittels der Hauptdüse 511 und der Aufbereitungsdüse 512 können Brennmittel bzw. Brennstoff in die Brennkammer 510 eingedüst werden, wobei bei diesem Ausführungsbeispiel die mittels der Aufbereitungsdüse 512 eingedüsten Brennmittel bereits mit Verbrennungsluft vermischt werden bzw. sind.

[192] Die Hauptdüse 511 ist im Wesentlichen parallel zu einer Hauptbrennrichtung 502 der Brennkammer 510 ausgerichtet. Darüber hinaus ist die Hauptdüse 511 coaxial zu einer Symmetrieachse 503 der Brennkammer 510 ausgerichtet, wobei die Symmetrieachse 503 parallel zur Hauptbrennrichtung 502 liegt.

[193] Die Aufbereitungsdüse 512 ist des Weiteren gegenüber der Hauptdüse 511 in einem Winkel (der Übersichtlichkeit halber hier nicht explizit eingezeichnet) angeordnet, sodass sich eine Strahlrichtung 516 der Hauptdüse 511 und eine Strahlenrichtung 519 der Aufbereitungsdüse 512 in einem gemeinsamen Schnittpunkt innerhalb der konischen Kammer 513 schneiden.

[194] In den Hauptbrenner 518 wird bei diesem Ausführungsbeispiel ohne weitere Luftzufuhr Brennstoff bzw. Kraftstoff aus der Hauptdüse 511 eingespritzt, wobei der Brennstoff durch den Vorbrenner 517 bereits vorerhitzt und idealerweise thermisch zerlegt werden kann. zur Verbrennung wird die der die Hauptdüse 511 durchströmenden Brennstoffmenge entsprechende Verbrennungsluftmenge in einen Brennraum 526 hinter dem Vorbrenner 517 bzw. dem Hauptbrenner 518 eingeleitet, wozu eine separate Verbrennungsluftzufuhr 504 vorgesehen ist, die in den Brennraum 526 mündet.

[195] Die separate Verbrennungsluftzufuhr 504 ist hierzu an eine Prozessluftzufuhr 521 angeschlossen, wobei von der separaten Verbrennungsluftzufuhr 504 eine weitere Verbrennungsluftzufuhr 522 mit Verbrennungsluft versorgt werden kann, welche hierbei einen Löcherkranz 523 mit Verbrennungsluft versorgt. Der Löcherkranz 523 ist hierbei der Aufbereitungsdüse 512 zugeordnet. Insofern kann der mit der Aufbereitungsdüse 512 eingespritzte Brennstoff zusätzlich mit Prozessluft vermischt in den Vorbrenner 517 bzw. in die konische Kammer 513 des Hauptbrenners 518 eingespritzt werden.

[196] Des Weiteren umfasst die Brennkammer 510, insbesondere der Brennraum 526, eine keramische Baugruppe 506, welche vorteilhafter Weise wassergekühlt ist. Die keramische Baugruppe 506 umfasst hierbei eine keramische Brennkammerwand 507, welche wiederum von einem profilierten Rohr 508 umgeben ist. Um dieses profilierte Rohr 508 erstreckt sich eine
5 Kühlluftkammer 509, die über eine Kühlluftkammerzufuhr 524 mit der Prozessluftzufuhr 521 verbunden ist.

[197] Die an sich bekannten Arbeitszylinder 520 führen entsprechende Arbeitskolben 530, die jeweils mittels Pleuelstangen 535 mit Verdichterkolben 550 mechanisch verbunden sind. Sowohl die Arbeitskolben 530 als auch die Verdichterkolben 550 sind gewichtsreduziert und dementsprechend weniger massig ausgebildet als herkömmliche Kolben bekannter Axialkolbenmotoren. Um jedoch weiterhin ausreichende Steifigkeits- sowie Festigkeitswerte erreichen zu können, verfügen die Kolben 530 und 550 über Querversteifungen (hier nicht explizit gezeigt),
10 welche sich auch in diesem Ausführungsbeispiel durch eine senkrechte Komponente zur Haupterstreckungsrichtung der jeweiligen Pleuelstange 535 auszeichnen. Hierdurch bauen die Kolben 530 und 550 äußerst robust, obwohl sie sehr leicht sind. Zur weiteren Gewichtsreduzierung sind die Kolben 530, 550 in Aluminium ausgeführt. Um dennoch eine hohe Hitzebeständigkeit gewährleisten zu können, sind die Arbeitskolben 530 am jeweiligen Kolbenboden mit einem Brennschutz (hier nicht explizit beziffert) verstärkt. Der jeweilige Kolbenschaft ist jedoch aus Aluminium ausgebildet.
15

[198] Darüber sind auch die Pleuelstangen 535 in Leichtbauweise ausgeführt, wobei auch diese entsprechende Querversteifungen (nicht gezeigt) aufweisen, um so trotz reduzierter Masse eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit zu erzielen.
20

[199] Insgesamt kann der Axialkolbenmotor 501 auf Grund der Leichtbauweise bereits mit einem verbesserten Wirkungsgrad betrieben werden.

[200] Die Pleuelstangen 535 umfassen in diesem Ausführungsbeispiel Pleuellaufräder 536, welche entlang einer Kurvenbahn 540 laufen, während die Arbeitskolben 530 bzw. die Verdichterkolben 550 bewegt werden. Hierdurch wird eine Abtriebswelle 541 in Rotation versetzt, welche mit der Kurvenbahn 540 mittels eines Antriebskurvenbahnträgers 537 verbunden
25

ist. Über die Abtriebswelle 541 kann eine durch den Axialkolbenmotor 501 erzeugte Leistung abgegeben werden.

[201] In an sich bekannter Weise erfolgt mittels der Verdichterkolben 550 eine Verdichtung der Prozessluft, gegebenenfalls auch einschließlich eines eingespritzten Wassers, welches gegebenenfalls zu einer zusätzlichen Abkühlung genutzt werden kann. Erfolgt die Aufgabe des Wassers oder von Wasserdampf während eines Saughubs des entsprechenden Verdichterkolbens 550, kann speziell eine isotherme Verdichtung des Brennmittels begünstigt werden. Eine mit dem Saughub einhergehende Wasseraufgabe kann eine besonders gleichförmige Verteilung des Wassers innerhalb der Brennmittel auf betrieblich einfache Weise gewährleisten.

[202] Hierdurch können gegebenenfalls Abgase in einem oder mehreren hier nicht dargestellten Wärmeübertragern wesentlich tiefer abgekühlt werden, wenn die Prozessluft über einen oder mehrerer derartiger Wärmeübertrager vorgewärmt und als Brennmittel zur Brennkammer 510 geführt werden soll, wie dies beispielsweise bereits in den vorstehend erläuternden Ausführungsbeispielen hinsichtlich der Figuren 1 bis 4 bereits ausführlich beschrieben ist. Entsprechend des Axialkolbenmotors 201 können auch bei dem Axialkolbenmotor 501, wie im Übrigen auch bei den Axialkolbenmotoren 301 und 401, Wärmeübertragerisolationen vorgesehen sein.

[203] Die Abgase können dem oder den Wärmeübertragern über die vorstehend genannten Abgaskanäle 525 zugeführt werden, wobei die Wärmeübertrager axial im Bezug auf den weiteren Axialkolbenmotor 501 angeordnet sind.

[204] Zusätzlich kann die Prozessluft durch einen Kontakt mit weiteren Baugruppen des Axialkolbenmotors 501, welche gekühlt werden müssen, weiter vorgewärmt bzw. erhitzt werden, wie dies ebenfalls bereits erläutert ist. Die auf diese Weise verdichtete und erhitzte Prozessluft wird dann der Brennkammer 510 in bereits erläuterter Weise aufgegeben, wodurch der Wirkungsgrad des weiteren Axialkolbenmotors 501 weiter erhöht werden kann.

[205] Jeder der Arbeitszylinder 520 des Axialkolbenmotors 501 ist über einen Schusskanal 515 mit der Brennkammer 510 verbunden, sodass ein gezündetes Brennmittel-Verbrennungsluft-Gemisch aus der Brennkammer 510 heraus über die Schusskanäle 515 in den jeweiligen Arbeitszylinder 520 gelangen und als Arbeitsmedium an den Arbeitskolben 530 Arbeit verrichten kann.

[206] Insofern kann das aus der Brennkammer 510 ausströmende Arbeitsmedium über wenigstens einen Schusskanal 515 sukzessive wenigstens zwei Arbeitszylindern 520 zugeführt werden, wobei je Arbeitszylinder 520 ein Schusskanal 515 vorgesehen ist, der über einen Steuerkolben 531 geschlossen und geöffnet werden kann. Somit ist die Anzahl der Steuerkolben 531 des weiteren Axialkolbenmotors 501 von der Anzahl der Arbeitszylinder 520 vorgegeben. Ein Verschließen bzw. Abdichten des Schusskanals 515 geschieht hierbei über den Steuerkolben 531 auch mit seinem Steuerkolbendeckel 532. Angetrieben wird der Steuerkolben 531 mittels eines Steuertriebs (hier nicht explizit beziffert) mit einer Steuerkolbenkurvenbahn 533, wobei ein Abstandhalter 534 für die Steuerkolbenkurvenbahn 533 zu der Antriebswelle 541 vorgesehen ist, der insbesondere auch einer thermischen Entkopplung dient. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel des weiteren Axialkolbenmotors 501 kann der Steuerkolben 531 eine im Wesentlichen axial gerichtete Hubbewegung 543 durchführen. Jeder der Steuerkolben 531 ist hierzu mittels nicht weiter bezifferter Gleitsteine, die in der Steuerkolbenkurvenbahn 533 gelagert sind, geführt, wobei die Gleitsteine jeweils einen Sicherungsnocken aufweisen, der in einer nicht weiter bezifferten Führungsnut hin und her läuft und ein Drehen in dem Steuerkolben 531 verhindert.

[207] Um einerseits die Abdichtung am Steuerkolben 531 weiter zu verbessern und andererseits den Steuertrieb vorteilhaft zu entlasten, wirken auf den Steuerkolben 531 nicht nur die von dem Steuertrieb aufgebrachten Kräfte sondern zusätzlich noch Kompensationskräfte, welche dem Brennkammerdruck entgegen gerichtet sind. Diese Kompensationskräfte greifen an der der Brennkammer abgewandten Seite des Steuerkolbens an dem Steuerkolben an. Insofern können die Kompensationskräfte die Abdichtung hinsichtlich des Steuerkolbens 531 vorteilhaft unterstützen.

[208] Hierzu ist der Axialkolbenmotor 501 im Bereich der Steuerkolben 531 mit einem Druckraum versehen sein, sodass die Steuerkolben 531 brennkammerseitig in einer entsprechenden Gegendruckumgebung arbeiten, wodurch die Abdichtung nochmals einfacher gelingt. Hierzu kann eine entsprechende Wellendichtung an dem nicht bezifferten Lager, welches brennkammerseitig der Abtriebswelle 541 und verdichterseitig des Abstandhalters 534 vorgesehen ist, vorgesehen sein.

[209] Um die bewegten Massen auch hinsichtlich des Steuerkolbens 531 vorteilhaft reduzieren zu können, weist der Steuerkolben 531 ebenfalls Querverstrebungen auf und ist zumindest

hinsichtlich seines Kolbenschaftes aus Aluminium hergestellt. Im Bereich des Kolbenbodens besteht der Steuerkolben 531 jedoch aus einer Eisenlegierung, um selbst sehr hohen Brennmitteltemperaturen besser standhalten zu können.

5 [210] Alternativ kann der Steuerkolben 531 auch aus einer Stahllegierung hergestellt sein, sodass Festigkeits- und/oder Steifigkeitsprobleme sowie thermische Schwierigkeiten noch weniger auftreten können als hinsichtlich einer Aluminiumlegierung.

10 [211] Da der Steuerkolben 531 im Bereich des Schusskanals 515 mit dem heißen Arbeitsmedium aus der Brennkammer 510 in Kontakt kommt, ist es vorteilhaft, wenn der Steuerkolben 531 wassergekühlt ist. Hierzu weist der weitere Axialkolbenmotor 501 insbesondere im Bereich des Steuerkolbens 531, eine Wasserkühlung 538 auf, wobei die Wasserkühlung 538 innere Kühlkanäle 545, mittlere Kühlkanäle 546 und äußere Kühlkanäle 547 umfasst. Derart gut gekühlt kann der Steuerkolben 531 betriebssicher in einem entsprechenden Steuerkolbenzylinder bewegt werden. Alternativ oder kumulativ kann noch eine Ölkühlung vorgesehen sein.

15 [212] Weiterhin sind die mit Brennmittel in Kontakt stehenden Oberflächen des Steuerkolbens 531 verspiegelt bzw. mit einer spiegelnden Beschichtung versehen, so dass ein über Wärmestrahlung auftretender Wärmeeintrag in die Steuerkolben 531 minimiert wird. Auch die weiteren mit Brennmittel in Kontakt stehenden Oberflächen der Schusskanäle 515 und der Brennkammer 510 sind in diesem Ausführungsbeispiel (ebenfalls nicht dargestellt) mit einer Beschichtung mit erhöhtem spektralen Reflexionsgrad versehen. Dieses gilt insbesondere für den Brennkammerboden (nicht explizit beziffert) aber auch für die keramische Brennkammerwand 507. Es versteht sich, dass diese Ausgestaltung der mit Brennmittel in Kontakt stehenden Oberflächen auch unabhängig von der übrigen Ausgestaltungsmerkmalen in einem Axialkolbenmotor vorliegen können. Es versteht sich, dass in abgewandelten Ausführungsformen auch weitere Baugruppen verspiegelt sein können oder aber auf die vorgenannten Verspiegelungen zumindest teilweise
20
25 verzichtet werden kann.

[213] Die Schusskanäle 515 und die Steuerkolben 531 können konstruktiv besonders einfach bereitgestellt werden, wenn der weitere Axialkolbenmotor 501 einen Schusskanalring 539 aufweist. Der Schusskanalring 539 weist hierbei eine Mittelachse auf, um welche konzentrisch herum insbesondere die Teile der Arbeitszylinder 520 und der Steuerkolbenzylinder angeordnet

sind. Zwischen jedem Arbeitszylinder 520 und Steuerkolbenzylinder ist ein Schusskanal 515 vorgesehen, wobei jeder Schusskanal 515 räumlich mit einer Ausnehmung (hier nicht beziffert) eines Brennkammerbodens 548 der Brennkammer 510 verbunden ist. Insofern kann das Arbeitsmedium aus der Brennkammer 510 heraus über die Schusskanäle 515 in die Arbeitszylinder 520 hinein gelangen und dort Arbeit verrichten, mittels welcher auch die Verdichterkolben 550 bewegt werden können. Es versteht sich, dass je nach konkreter Ausgestaltung noch Beschichtungen und Einsätze vorgesehen sein können, um insbesondere den Schusskanalring 539 bzw. sein Material vor einem direkten Kontakt mit korrosiven Verbrennungsprodukten oder mit zu hohen Temperaturen zu schützen. Der Brennkammerboden 548 wiederum kann auch mit einer weiteren keramischen oder metallischen Beschichtung, insbesondere einer Verspiegelung, auf seiner Oberfläche behaftet sein, welche einerseits die aus der Brennkammer 510 auftretende Wärmestrahlung durch Erhöhung des Reflexionsgrades und andererseits die Wärmeleitung durch Verringerung der Wärmeleitfähigkeit vermindert.

[214] Es versteht sich, dass der weitere Axialkolbenmotor 501 beispielsweise ebenfalls mit wenigstens einem Brennmittelspeicher und entsprechenden Ventilen ausgerüstet werden kann, wobei dies in dem konkreten Ausführungsbeispiel nach der Figur 5 jedoch nicht explizit gezeigt ist. Auch bei dem weiteren Axialkolbenmotor kann der Brennmittelspeicher in doppelter Ausführung vorgesehen werden, um komprimierte Brennmittel mit unterschiedlichen Drücken speichern zu können.

[215] Die zwei vorhandenen Brennmittelspeicher können hierbei an entsprechenden Druckleitungen der Brennkammer 510 angeschlossen sein, wobei die Brennmittelspeicher über Ventile mit den Druckleitungen fluidisch verbindbar oder trennbar sind. Insbesondere können zwischen den Arbeitszylindern 520 bzw. Verdichterzylindern 560 und dem Brennmittelspeicher Absperrventile oder Drosselventile bzw. Regel- oder Steuerventile vorgesehen sein. Beispielsweise können die vorgenannten Ventile bei Anfahr- oder Beschleunigungssituationen sowie zum Starten entsprechend geöffnet oder geschlossen werden, wodurch der Brennkammer 510, zumindest für einen begrenzten Zeitraum, ein Brennmittelüberschuss zur Verfügung gestellt werden kann.

[216] Die Brennmittelspeicher sind fluidisch vorzugsweise zwischen einem der Verdichterzylinder und einem der Wärmeübertrager zwischengeschaltet. Die beiden Brennmittelspeicher werden idealerweise mit unterschiedlichen Drücken betrieben, um hierdurch die von

dem weiteren Axialkolbenmotor 501 in Form von Druck bereitgestellte Energie sehr gut nutzen zu können. Hierzu können die vorgesehenen Druckobergrenze und Druckuntergrenze am ersten Brennmittelspeicher mittels einer entsprechenden Druckregelung unterhalb der Druckobergrenzen und Druckuntergrenzen des zweiten Brennmittelspeichers eingestellt sein. Es versteht sich, dass hierbei an den Brennmittelspeichern mit unterschiedlichen Druckintervallen gearbeitet werden kann.

[217] Die in Figuren 6 und 7 dargestellten weiteren Axialkolbenmotoren entsprechen im Wesentlichen dem Axialkolbenmotor 501, so dass diesbezüglich auf eine erneute Erläuterung der Wirkungs- und Arbeitsweise verzichtet wird. Wesentlicher Unterschied zwischen den Axialkolbenmotoren aus den Figuren 6 und 7 einerseits und dem Axialkolbenmotor 501 andererseits ist die Kühlung des über die zylindrische Kammer 1314 mit Brennmittel beschickten Brennraumes 1326, die bei den dargestellten Axialkolbenmotoren ergänzend über Wasser erfolgt. Es versteht sich, dass eine derartige oder ähnliche Wasserkühlung auch bei dem Axialkolbenmotor 501 bzw. den anderen hier dargestellten Axialkolbenmotoren vorgesehen sein kann. Hierzu weisen beide Axialkolbenmotoren jeweils eine Wasserkammer 1309A auf, welche den Brennraum 1326 umgibt und über eine Zufuhrleitung mit flüssigem Wasser gespeist wird. Hierzu wird über die nicht bezifferte Zufuhrleitung jeweils Wasser mit Brennkammerdruck zugeführt.

[218] Dieses Wasser wird über Stichkanäle jeweils einem Ringkanal 1309D aufgegeben, der mit einem Stahlrohr (nicht beziffert) in Kontakt steht, das seinerseits das profilierte Rohr 1308 des jeweiligen Brennraumes 1326 umgibt und derart dimensioniert ist, dass sowohl zwischen dem profilierten Rohr 1308 und dem Stahlrohr einerseits als auch zwischen dem Stahlrohr und dem die Stichkanäle aufweisenden Gehäuseteil andererseits jeweils ein Ringspalt (nicht beziffert) verbleibt und dass die beiden Ringspalten über das dem Ringkanal 1309D abgewandte Ende des Stahlrohres miteinander verbunden sind. Es versteht sich hierbei, dass die Rohre auch aus einem anderen Material als aus Stahl gebildet sein können.

[219] Oberhalb der profilierten Rohre 1308 sind bei den dargestellten Axialkolbenmotoren jeweils weitere Ringkanäle 1309E vorgesehen, die einerseits mit dem jeweilig radial innen liegenden Ringspalt verbunden sind und andererseits sich über Kanäle 1309F zu einer Ringdüse (nicht beziffert) öffnen, die in den jeweiligen Brennraum 1326 führt. Die Ringdüse ist hierbei axial zur Brennkammerwand bzw. zur keramischen Brennkammerwand 1307 ausgerichtet, so

dass das Wasser die keramische Brennkammerwand 1307 auch brennkammerseitig schützen kann.

[220] Es versteht sich, dass das Wasser auf seinem Weg von der Zufuhrleitung zu der Brennkammer 1326 jeweils verdampfen und dass das Wasser ggf. mit weiteren Zusätzen versehen
5 sein kann. Auch versteht es sich, dass das Wasser ggf. aus dem Abgas des jeweiligen Axialkolbenmotors wiedergewonnen und wiederverwendet werden kann.

[221] Der im Übrigen im Wesentlichen den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen entsprechenden Axialkolbenmotors umfasst einem Brennraum 1326, Steuerkolben 1331, Schusskanälen 1315 und Arbeitskolben 1330. Der um die Symmetrieachse 1303 rotationssymmetrisch angeordnete Brennraum 1326 weist, wie vorstehend beschrieben, eine keramische
10 Baugruppe 1306 mit einer keramischen Brennkammerwand 1307 und einem profilierten Stahlrohr 1308 auf. Entlang der Symmetrieachse 1303 ergibt sich die Hauptbrennrichtung 1302 in welcher Brennmittel in Richtung der Schusskanäle 1315 und Arbeitszylinder 1320 strömt. Der Brennraum 1326 ist zum Arbeitszylinder 1320 durch die parallel zur Symmetrieachse 1303
15 angeordneten Steuerkolben 1331 abgegrenzt. Durch die oszillierende Bewegung der Steuerkolben 1331 entlang ihrer Längsachsen 1315B wird periodisch jeweils ein zu einem Steuerkolben gehöriger Schusskanal 1315 freigegeben, sobald der in dem Arbeitszylinder 1320 befindliche Arbeitskolben 1330 eine Bewegung in Richtung seines oberen Totpunktes ausführt oder bereits im oberen Totpunkt steht. Der Schusskanal 1315 weist die Symmetrieachse 1315A auf, entlang
20 welcher eine Leitfläche 1332A ausgerichtet ist. Die zu dieser Symmetrieachse 1315A parallel ausgerichtete Leitfläche 1332A fluchtet somit mit einer Wandung des Schusskanals 1315, sobald der Steuerkolben 1331 sich in seinem unteren Totpunkt befindet, und ermöglicht hierdurch eine umlenkungsfreie Strömung des Brennmittels in Richtung des Arbeitszylinders 1320. Eine Leitflächendichtfläche 1332E ist wiederum parallel zur Leitfläche 1332A ausgerichtet, sodass
25 diese Leitflächendichtfläche 1332E annähernd mit der Leitfläche 1332A abschließt, sobald der Steuerkolben 1331 seinen oberen Totpunkt erreicht hat. Die zylindrische Mantelfläche des Steuerkolbens 1331 schließt weiterhin mit einer Schaftdichtfläche 1332D ab und vergrößert hiermit die Dichtwirkung zwischen dem Brennraum 1326 und dem Arbeitszylinder 1320. Der Steuerkolben 1331 weist zudem eine Prallfläche 1332B auf, welche annähernd rechtwinklig zur Symmetrieachse des Schusskanals 1315A ausgerichtet ist. Diese Ausrichtung erfolgt somit annähernd normal zur Strömungsrichtung des Brennmittels, wenn dieses aus dem Brennraum 1326
30

austritt und in den Schusskanal 1315 eintritt. Folglich wird dieser Teil des Steuerkolbens 1331 möglichst gering durch einen Wärmestrom belastet, da die Prallfläche 1332B eine minimale Oberfläche zum Brennraum 1326 aufweist.

[222] Der Steuerkolben 1331 wird über die Steuerkolbenkurvenbahn 1333 gesteuert. Diese Steuerkolbenkurvenbahn 1333 beinhaltet nicht notwendiger Weise ein sinusförmig ausgeprägtes Profil. Eine von einer Sinusform abweichende Steuerkolbenkurvenbahn 1333 erlaubt es, den Steuerkolben 1331 für eine definierte Zeitspanne im jeweiligen oberen oder unteren Totpunkt zu halten und hierdurch einerseits bei geöffnetem Schusskanal 1315 den Öffnungsquerschnitt möglichst maximal zu halten und andererseits die thermische Beanspruchung der Steuerkolbenoberflächen während des Öffnens und des Schließens des Schusskanals in Folge einer kritischen Strömungsgeschwindigkeit des Brennmittels möglichst niedrig zu halten, indem zum Zeitpunkt des Öffnens eine maximal mögliche Öffnungsgeschwindigkeit über die Ausgestaltung der Steuerkolbenkurvenbahn 1333 gewählt wird.

[223] Auch zeigt die Figur 6 einen im Steuerkolben 1331 befindlichen Steuerkolbenödraum 1362, welcher die Steuerkolbendichtung 1363 mit Öl bedient bzw. aus der Steuerkolbendichtung 1363 zurückfließendes Öl wieder aufnimmt. Der Steuerkolbenödraum 1362 wird gespeist über den Druckölkreislauf 1361. Die Unterseite des Steuerkolbens 1331 zeigt in Richtung der als Druckraum ausgebildeten Steuerkammer 1364. Zugleich sammelt die Steuerkammer 1364 aus dem Steuerkolben 1331 und dem Druckölkreislauf 1361 austretendes Öl. Auch können optional die inneren Kühlkanäle 1345 über den Druckölkreislauf 1361 anstatt über einen Wasserkreislauf mit Öl beschickt werden, um die Unterseite des Brennraumes 1326 zu kühlen.

[224] Bei dem in Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel sind eine erste Steuerkammerdichtung 1365 und eine zweite als Radialwellendichtring ausgeführte Steuerkammerdichtung 1366 vorgesehen, welche die möglicherweise unter höherem Druck befindliche Steuerkammer 1364 gegenüber dem unter annäherndem Umgebungsdruck befindlichen Rest des Axialkolbenmotors abdichten. Die erste Steuerkammerdichtung 1365 und zweite Steuerkammerdichtung 1366 dichten die Steuerkammer 1364 über eine Dichthülse 1367 ab. Diese Dichthülse 1367 sitzt mittels eines Pressverbandes auf einer rotierenden zentralen Welle des Axialkolbenmotors, welche teilweise den Druckölkreislauf 1361 beinhaltet. Selbstverständlich kann die Dichthülse 1367 auch in einer anderen Art und Weise mit der rotierenden Welle verbunden werden. Denk-

bar ist auch eine stoffschlüssige Verbindung oder eine zusätzliche Dichtung zwischen der Welle und der Dichthülse 1367. Wie unmittelbar ersichtlich sitzen diese Dichtungen auf einem verhältnismäßig geringen Radius, so dass Wirkungsgradverluste minimiert werden können. Ebenso befinden sich diese Dichtungen in einem verhältnismäßig kühlen Bereich des Axialkolbenmotors, so dass hier konventionelle Dichtungen zur Anwendung kommen können.

[225] Die Figur 7 zeigt auch eine weitere Ausgestaltung der zur Abdichtung der Schusskanäle 1315 dienenden Steuerkolbenoberflächen. Hierin wird deutlich, dass die Prallfläche 1332B nicht zwangsläufig eine ebene Fläche sein muss, sondern auch einen Ausschnitt aus einer Kugel-, Zylinder- oder Kegeloberfläche und somit rotationssymmetrisch zur Symmetrieachse 1303 ausgebildet sein kann. Auch die Leitfläche 1332A und die Leitflächendichtfläche 1332E können abweichend von einer Ebene ausgebildet sein. Die Figur 7 zeigt hierbei eine Ausgestaltung der Leitfläche 1332A und der Leitflächendichtfläche 1332E, wobei diese Flächen zumindest in einer Schnittebene eine abgewinkelte Gerade darstellen.

[226] Auch sind die in dieser Ausführungsform dargestellten Oberflächen des Steuerkolbens 1331, wie etwa die Leitfläche 1332A oder die Prallfläche 1332E, sowie die Dichtflächen, wie die Leitflächendichtfläche 1332E oder die Schaftdichtfläche 1332D, verspiegelt, um durch Wärmestrahlung auftretende Wärmeverluste über den Steuerkolben zu unterbinden bzw. zu minimieren. Die aufgebrauchte Verspiegelung dieser Oberflächen kann darüber hinaus auch aus einer keramischen Beschichtung bestehen, welche die Wärmeleitfähigkeit bzw. den Wandwärmeeübergang zum Steuerkolben herabsetzt. Ebenso wie die Oberflächen des Steuerkolbens 1331 ist die Oberfläche des Brennkammerbodens 1348 (exemplarisch gezeigt in Figur 6) verspiegelt, um einen Wandwärmeverlust zu minimieren. An der Unterseite des Brennkammerbodens 1348 befindet sich zusätzlich zur Kühlung innere Kühlkanäle, welche optional mit Wasser oder Öl Wärme aus dem Brennraum 1326 abführen.

[227] Die in der Figur 7 dargestellte Kühlkammer 1334 des Steuerkolbens 1331 ist mit einem bei Betriebstemperatur des Axialkolbenmotors flüssig vorliegenden Metall, bei diesem Ausführungsbeispiel Natrium, gefüllt, welches durch Konvektion und Wärmeleitung Wärme von den Oberflächen des Steuerkolbens abführen und an das im Druckölkreislauf 1361 befindliche Öl weitergeben kann.

[228] Der den Steuerkolben 1331 mit Öl versorgende Druckölkreislauf 1361 ist schematisch in Figur 8 dargestellt. Hierin wird die Verschaltung des Motorölkreislaufes 2002 mit dem Druckölkreislauf 2003 und der Verdichterstufe 2011 innerhalb des Ölkreislaufes 2001 dargestellt. Der über das Ladeventil 2016 und Ausgleichsventil 2026 vollständig abschließbare

5 Druckölkreislauf 2003 beinhaltet im Wesentlichen einen Druckölsumpf 2022, auf welchem die Druckölpumpe 2021 über den zweiten Zulauf 2033 und dem gemeinsamen Zulauf 2034 Öl ansaugen und über die zweite Zuleitung 2025 der Steuerkammer 2023 zur Verfügung stellen kann. Durch den Ölrücklauf 2031 wird sodann der Ölkreislauf geschlossen, indem das rücklaufende Öl durch diesen Ölrücklauf 2031 dem Druckölsumpf 2022 wieder zugeführt wird. Sofern der

10 Druckölkreislauf 2003 gegenüber seiner Umgebung abgeschlossen ist, benötigt die Druckölpumpe 2021 lediglich eine minimale Leistungsaufnahme zur Förderung des Öls. Es werden hierbei lediglich die durch das Umwälzen des Öls im Druckölkreislauf 2003 hervorgerufenen Strömungsverluste über die Pumpenleistung aufgebracht. Die zur Kompensation eines auf den Steuerkolben 1331 wirkenden Brennkammerdrucks benötigte Kraft wird über einen durch die

15 Verdichterstufe 2011 aufgebrachten Druck kompensiert. Die Verdichterstufe 2011 ist hierzu über den Zulauf 2035 und die Druckleitungen 2015 und 2030 ebenfalls mit der Steuerkammer 2023 verbunden. Das Ladeventil 2016 befindet sich zwischen der Zuleitung 2035 und der Druckleitung 2015, um den Druckölkreislauf 2003 gegenüber der Verdichterstufe 2011 abzugrenzen, sobald keine weitere Aufladung des Druckölkreislaufes 2003 erforderlich ist. Das Ladeventil 2016 ist hierbei als Mehrwegeventil ausgeführt. Die Ansteuerung des Ladeventils 2016 erfolgt zudem über die Steuerleitung 2036, welche ebenfalls mit der Verdichterstufe 2011 über den Zulauf 2035 verbunden ist. Die Steuerung erfolgt in einer Ausführungsform derart, dass das Ladeventil 2016 den Zulauf 2036 mit der Druckleitung 2015 dann verbindet, wenn der durch die Verdichterstufe aufgebrachte Verdichterdruck dem in der Steuerkammer 2023 befindlichen

25 Druck entspricht oder diesen übersteigt. Möglich ist auch eine Ausgestaltung des Ladeventils 2016 mit einem definierten Öffnungsdruck. So kann beispielsweise das Ventil auch derart eingestellt werden, dass dieses erst bei beispielsweise 30 bar Verdichterdruck öffnet. Auch ist es möglich, dass das Ladeventil 2016 über ein im Steuergerät des Axialkolbenmotors befindliches Kennfeld angesteuert wird und somit Last- oder Drehzahlabhängig öffnet. Mit Last- oder Drehzahlabhängigkeit ist in diesem Falle der Betriebszustand des Axialkolbenmotors gemeint.

30

[229] Das Befüllen des Druckölkreislaufes 2003 erfolgt in dieser Ausführungsform durch Schalten des Ausgleichsventils 2026, welches über die Steuerleitung 2024 mit dem Druckölsumpf 2022 verbunden ist, so dass wenigstens bei minimalem Ölstand im Druckölsumpf 2022, solange es der Betriebspunkt des Axialkolbenmotors zulässt, Öl aus dem Motorölsumpf 2012 über die den ersten Zulauf 2032 dem Druckölkreislauf zugeführt werden kann. Das im ersten Zulauf befindliche Rücklaufventil 2027 verhindert ein unbeabsichtigtes Entleeren des Druckölkreislaufes 2003 in den Motorölkreislauf 2002, sofern die Druckölpumpe 2021 kein ausreichendes Druckgefälle zwischen dem Druckölkreislauf 2003 und dem Motorölkreislauf 2002 erzeugen kann.

10 [230] In die Druckleitungen 2015 und 2030 ist ebenfalls ein Ölabscheider 2028 zwischengeschaltet. Einerseits dient dieser Ölabscheider 2028 dazu, die Steuerkammer 2023 mit ölfreier, komprimierter Luft zu versorgen, andererseits ist es selbstverständlich auch möglich, dass über das Ladeventil 2016 eine Druckentladung des zweiten Teilkreislaufes 2003 möglich ist und somit der Verdichterstufe 2011 ölfreie Luft zurückgeführt wird. Im Falle eines Rückströmens aus dem Druckölkreislauf 2003 in die Verdichterstufe 2011 kann somit wirksam das selbstständige Zünden des mit Öl angereicherten Brennmittels während der Verdichtung oder nach der Verdichtung verhindert werden. Der Rücklauf 2029 verbindet hierbei den Ölabscheider 2028 mit dem Druckölsumpf 2022.

[231] Der Druckölsumpf 2022 verfügt zudem über Mittel zur Ermittlung eines Ölstandes, welche über eine Steuerleitung 2024 mit dem Ausgleichsventil 2026 verbunden sind. Dem Ausgleichsventil 2026 fällt hierbei die Aufgabe zu, den Motorölkreislauf 2002 mit dem Druckölkreislauf 2002 bzw. mit dem Motorölsumpf 2012 des Motorölkreislaufes 2002 zu verbinden. Dem Ausgleichsventil 2026 fällt somit weiterhin die Aufgabe zu, den Druckölkreislauf 2003 mit einer ausreichend großen Menge Öl zu versorgen, indem die Druckölpumpe 2021 über den ersten Zulauf 2032 fehlendes Öl aus dem Motorölsumpf 2012 beziehen kann. Vorzugsweise erfolgt die Verbindung des Motorölkreislaufes 2002 mit dem Druckölkreislauf 2003 über das Ausgleichsventil 2026 erst dann, wenn das Druckniveau im Druckölkreislauf 2003 besonders gering ist, um eine erhöhte Leistungsaufnahme der Druckölpumpe 2021 wegen eines höheren Druckunterschiedes zu vermeiden.

[232] Figur 9 zeigt eine Wärmeübertragerkopfplatte 3020 welche für die Verwendung für einen Wärmeübertrager für einen Axialkolbenmotor geeignet ist. Die Wärmeübertragerkopfplatte 3020 umfasst zwecks Montage und Anschluss an einem Auslasskrümmer eines Axialkolbenmotors einen Flansch 3021 mit entsprechenden in einem Lochkreis angeordneten Bohrungen 3022 im radial außen liegenden Bereich der Wärmeübertragerkopfplatte 3020. Im radial innen liegenden Bereich des Flansches 3021 befindet sich die Matrize 3023, welche zahlreiche als Rohrsitze 3024 ausgeführte Bohrungen zur Aufnahme von Rohren aufweist.

[233] Die gesamte Wärmeübertragerkopfplatte 3020 ist vorzugsweise aus demselben Werkstoff gefertigt, aus welchem auch die Rohre gebildet sind, um zu gewährleisten, dass der thermische Ausdehnungskoeffizient im gesamten Wärmeübertrager möglichst homogen ist und hiermit thermische Wärmespannungen im Wärmeübertrager minimiert werden. Kumulativ hierzu kann das Mantelgehäuse des Wärmeübertragers ebenfalls aus einem der Wärmeübertragerkopfplatte 3020 oder den Rohren entsprechenden Werkstoff hergestellt werden. Die Rohrsitze 3024 können beispielsweise mit einer Passung ausgeführt werden, sodass die in diesen Rohrsitzen 3024 montierten Rohre mittels einer Presspassung eingesetzt werden.

[234] Alternativ hierzu können die Rohrsitze 3024 auch derart ausgeführt werden, dass eine Spielpassung oder eine Übergangspassung realisiert wird. Somit kann auch eine Montage der Rohre in den Rohrsitzen 3024 durch eine stoffschlüssige statt einer kraftschlüssigen Verbindung erfolgen. Der Stoffschluss wird hierbei vorzugsweise durch Schweißen oder Löten bewerkstelligt, wobei als Lot oder Schweißwerkstoff ein der Wärmeübertragerkopfplatte 3020 oder den Rohren entsprechender Werkstoff verwendet wird. Dies hat ebenfalls den Vorteil, dass Wärmespannungen in den Rohrsitzen 3024 durch homogene Wärmeausdehnungskoeffizienten minimiert werden können.

[235] Es ist bei dieser Lösung auch möglich, Rohre in den Rohrsitzen 3024 per Presssitz zu montieren und zusätzlich hierzu zu verlöten oder zu verschweißen. Durch diese Art der Montage kann auch eine Dichtigkeit des Wärmeübertragers gewährleistet werden, sofern unterschiedliche Werkstoffe für die Rohre und die Wärmeübertragerkopfplatte 3020 verwendet werden, da die Möglichkeit besteht, dass durch die sehr hohen auftretenden Temperaturen von über 1000°C eine alleinige Verwendung einer Presspassung wegen unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten unter Umständen versagen kann.

[236] Figur 10 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines Gaswechselventils 1401 mit einer Ventildfeder 1411 und einer Prallfeder 1412. Das Gaswechselventil 1401 ist hierbei als selbsttätig öffnendes Ventil ohne Nockensteuerung ausgeführt, welches bei einem gegebenen Druckunterschied öffnet, wobei der Zylinderinnendruck bei einem Ansaugvorgang des Zylinders geringer ist als der Druck im Einlasskanal aus welchem der entsprechende Zylinder ein Brennmittel ansaugt. Das Gaswechselventil 1401 findet vorzugsweise als Einlassventil in der Verdichterstufe Verwendung. Die Ventildfeder 1411 stellt hierbei eine Schließkraft am Gaswechselventil 1401 zur Verfügung, mittels welcher der Öffnungszeitpunkt über die Ausgestaltung der Ventildfeder 1411 bestimmt werden kann. Die Ventildfeder 1411, welche den Ventilschaft 1404 des Gaswechselventils 1401 umgreift, sitzt hierbei in einer Ventildführung 1405 und stützt sich an dem Ventilderteller 1413 ab.

[237] Der Ventilderteller 1413 wiederum ist mit wenigstens zwei Keilstücken 1414 formschlüssig am Ventilschaft 1404 des Gaswechselventils 1401 befestigt.

[238] Die Ausgestaltung der Ventildfeder 1411, wobei diese Ventildfeder 1411 gerade so ausgelegt ist, dass ein Öffnen des Gaswechselventils 1401 bereits bei geringen Druckunterschieden stattfindet, kann bei bestimmten Betriebsbedingungen dazu führen, dass das Gaswechselventil 1401 eine derart hohe Beschleunigung durch die an dem Ventilteller 1402 anliegenden Druckunterschied erfolgt, welche zu einem übermäßigen Öffnen des Gaswechselventils 1401 über den festgelegten Ventilhub hinaus führt.

[239] Der Ventilteller 1402 gibt bei einem Öffnen des Gaswechselventils 1402 an seinem Ventilsitz 1403 einen Strömungsquerschnitt frei, welcher ab einem gewissen Ventilhub geometrisch nicht wesentlich weiter ansteigt. Der maximale Strömungsquerschnitt am Ventilsitz 1403 wird üblicherweise über den Durchmesser des Ventiltellers 1402 definiert. Der Hub des Gaswechselventils 1401 bei maximalem Strömungsquerschnitt entspricht in etwa einem Viertel des Durchmessers des Ventiltellers 1402 an seinem inneren Ventilsitz. Bei Überschreiten des Ventilhubes bzw. des rechnerischen Ventilhubes bei maximalem Strömungsquerschnitt, erfolgt einerseits kein weiterer wesentlicher Zuwachs des Luftmassenstroms am Strömungsquerschnitt zwischen dem Ventilsitz 1403 und dem Ventilteller 1402 und andererseits ist es möglich, dass der Ventilderteller 1413 mit einem feststehenden Bauteil des Zylinderkopfes, hier beispiels-

weise die Ventildfederführung 1406, in Kontakt gerät und somit der Ventildfederteller 1413 oder die Ventildfederführung 1406 zerstört werden.

[240] Um dieses übermäßige Öffnen des Gaswechselventils 1401 zu verhindern bzw. zu begrenzen kommt der Ventildfederteller 1403 auf der Prallfeder 1412 zu liegen, wodurch sprunghaft die Gesamtfederkraft, bestehend aus der Ventildfeder 1411 und der Prallfeder 1412, ansteigt und das Gaswechselventil 1402 einer starken Verzögerung unterliegt. Die Steifigkeit der Prallfeder 1412 ist in diesem Ausführungsbeispiel so gewählt, dass bei einer maximalen Öffnungsgeschwindigkeit des Gaswechselventils 1401 das Gaswechselventil 1401 durch Aufliegen auf der Prallfeder 1412 gerade so stark verzögert wird, dass kein Kontakt zwischen bewegten Bauteilen der Ventilgruppe, wie etwa dem Ventildfederteller 1413, und feststehenden Bauteilen, wie etwa der Ventildfederführung 1406, zustande kommt.

[241] Die zweistufig aufgebrachte Federkraft in dieser Ausführungsform bringt weiterhin den Vorteil, dass während des Schließvorgangs des Gaswechselventils 1401 dieses Gaswechselventil 1401 nicht im Übermaß in die Gegenrichtung beschleunigt wird und im Ventilteller 1402 nicht mit einer übermäßigen Geschwindigkeit in den Ventilsitz 1403 prallt, da die zum Öffnen und Schließen des Gaswechselventils 1401 zuständige Ventildfeder 1411 gerade so ausgelegt ist, dass sie keine übermäßig hohen Federkräfte bereitstellt.

[242] Eine weitere schematische Schnittdarstellung eines Gaswechselventils 1401 mit einer Ventildfeder 1411 und einer Prallfeder 1412 zeigt die Figur 11, in welcher ein zweistückiger Ventildfederteller 1413 in Verbindung mit einem Stützring 1415 verwendet wird. In dieser Ausführungsform wird der geteilte Ventildfederteller 1413 ohne Verwendung von Kegelstücken 1414 mit dem Ventilschaft 1404 in Kontakt gebracht und nimmt dort formschlüssig die Federkräfte der Ventildfeder 1411 und der Prallfeder 1412 auf. Der Stützring 1415 stellt hierbei einerseits eine Verliersicherung dar und andererseits nimmt der Stützring 1415 Kräfte in radialer Richtung, gesehen von der Achse des Ventilschaftes, auf. Ein Sicherungsring 1416 wiederum sichert den Stützring 1415 vor einem Herausfallen.

[243] Um weiterhin ein zügiges Öffnen und Schließen des Gaswechselventils zu erreichen, sind Gaswechselventile 1401 nach dieser Ausführungsform, also bei Verwendung in der Verdichterstufe und als selbsttätig öffnendes Ventil, aus einem Leichtmetall gefertigt. Die ge-

ringere Massenträgheit eines Gaswechselventils 1402 aus Leichtmetall begünstigt hierbei das schnelle Öffnen aber auch das schnelle und sanfte Schließen des Gaswechselventils 1401. Auch wird durch die geringe Massenträgheit der Ventilsitz 1403 geschont, da das Gaswechselventil 1401 in dieser Ausführungsform keine übermäßig hohen kinetischen Energien beim Aufsetzen in den Ventilsitz 1403 freisetzt. Das gezeigte Gaswechselventil 1401 ist vorzugsweise aus Dural, einer hochfesten Aluminiumlegierung, gefertigt, wodurch das Gaswechselventil 1401 trotz seiner geringen Dichte eine ausreichend hohe Festigkeit aufweist.

Bezugszeichenliste:

	201	Axialkolbenmotor		415	Schusskanal
	205	Gehäusekörper		420	Arbeitszylinder
5	210	Brennkammer		425	Abgaskanal
	215	Schusskanal	35	427	Auslass
	220	Arbeitszylinder		430	Arbeitskolben
	225	Abgaskanal		435	Pleuelstange
	227	Auslass		440	Kurvenbahn
10	230	Arbeitskolben		441	Abtriebswelle
	235	Pleuelstange	40	442	Abstandhalter
	240	Kurvenbahn		450	Verdichterkolben
	241	Abtriebswelle		455	Druckleitung
	242	Abstandhalter		456	Ringkanal
15	250	Verdichterkolben		457	Zuleitung
	255	Druckleitung	45	460	Verdichterzylinder
	257	Zuleitung		470	Wärmeübertrager
	260	Verdichterzylinder		480	Brennmittelspeicher
	270	Wärmeübertrager		481	Speicherleitung
20				485	Ventil
	301	Axialkolbenmotor	50		
	305	Gehäusekörper		501	Axialkolbenmotor
	310	Brennkammer		502	Hauptbrennrichtung
	315	Schusskanal		503	Symmetrieachse
25	320	Arbeitszylinder		504	Verbrennungsluftzufuhr
	325	Abgaskanal	55	505	Gehäusekörper
	370	Wärmeübertrager		506	keramische Baugruppe
				507	keramische Brennkammerwand
	401	Axialkolbenmotor		508	profiliertes Rohr
30	405	Gehäusekörper		509	Kühlluftkammer
	410	Brennkammer	60	510	Brennkammer

511	Hauptdüse	548	Brennkammerboden
512	Aufbereitungsdüse	550	Verdichterkolben
513	konische Kammer	35 560	Verdichterzylinder
514	zylindrische Kammer	592	Vorkammertemperatursensor
5 515	Schusskanal	593	Abgastemperatursensor
516	erste Strahlrichtung		
517	Vorbrenner	1302	Hauptbrennrichtung
518	Hauptbrenner	40 1303	Symmetrieachse
519	weitere Strahlrichtung	1306	keramische Baugruppe
10 520	Arbeitszylinder	1307	keramische Brennkammerwand
521	Prozessluftzufuhr	1308	profiliertes Stahlrohr
522	weitere Verbrennungsluftzufuhr	1309A	Wasserkammer
523	Löcherkranz	45 1309D	Ringkanal
524	Kühlluftkammerzufuhr	1309E	Ringkanal
15 525	Abgaskanal	1309F	Kanal
526	Brennraum	1314	zylindrische Kammer
530	Arbeitskolben	1315	Schusskanal
531	Steuerkolben	50 1315A	Symmetrieachse des Schusskanal
532	Steuerkolbendeckel	1315B	Längsachse des Steuerkolbens
20 533	Steuerkolbenkurvenbahn	1320	Arbeitszylinder
534	Abstandhalter	1326	Brennraum
535	Pleuelstange	1330	Arbeitskolben
536	Pleuellaufräder	55 1331	Steuerkolben
537	Antriebskurvenbahnträger	1332A	Leitfläche
25 538	Wasserkühlung	1332B	Prallfläche
539	Schusskanalring	1332D	Schaftdichtfläche
540	Kurvenbahn	1332E	Leitflächendichtfläche
541	Abtriebswelle	60 1333	Steuerkolbenkurvenbahn
543	Hubbewegung	1334	Kühlkammer
30 545	innere Kühlkanäle	1345	innere Kühlkanäle
546	mittlere Kühlkanäle	1348	Brennkammerboden
547	äußere Kühlkanäle	1361	Druckölkreislauf

1362	Steuerkolbenödraum	2015	Druckleitung
1363	Steuerkolbendichtung	2016	Ladeventil
1364	Steuerkammer	2021	Druckölpumpe
1365	erste Steuerkammerdichtung	2022	Druckölsumpf
5 1366	zweite Steuerkammerdichtung	30 2023	Steuerkammer
1367	Dichthülse	2024	Steuerleitung Ölstand
		2025	zweite Zuleitung
1401	Gaswechselventil	2026	Ausgleichsventil
1402	Ventilteller	2027	Rücklaufventil
10 1403	Ventilsitz	35 2028	Ölabscheider
1404	Ventilschaft	2029	Rücklauf
1405	Ventilführung	2030	Druckleitung
1406	Ventilfederführung	2031	Ölrücklauf
1411	Ventilfeder	2032	erster Zulauf
15 1412	Prallfeder	40 2033	zweiter Zulauf
1413	Ventilfederteller	2034	gemeinsamer Zulauf
1414	Kegelstück	2035	Zulauf
1415	Stützring	2036	Steuerleitung
1416	Sicherungsring		
20		45 3020	Wärmeübertragerkopfflatte
2001	Ölkreislauf	3021	Flansch
2002	Motorölkreislauf	3022	Montagebohrung
2003	Druckölkreislauf	3023	Matrize
2011	Verdichterstufe	3024	Rohrsitz
25 2012	Motorölsumpf	50	

Patentansprüche:

1. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem
5 Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eines der beiden Pleuel Querversteifungen aufweist.
2. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem
10 Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Arbeitskolben Querversteifungen aufweist.
- 15 3. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach
20 Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichterkolben Querversteifungen aufweist.
4. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem
25 Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eines der beiden Pleuel aus Aluminium ist.

5. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Arbeitskolben aus Aluminium, der arbeitszylinderseitig einen Brennschutz, vorzugsweise aus Eisen, aufweist.
6. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Verdichterkolben aus Aluminium.
7. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sowohl der Arbeitspleuel und der Verdichterpleuel als auch Arbeits- und Verdichterkolben aus Stahl gebildet sind.
8. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichterpleuel leichter als der Arbeitspleuel ausgebildet ist.

9. Axialkolbenmotor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitskolben anders als der Verdichterkolben ausgebildet ist.
10. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei in dem Arbeitszylinder ein Arbeitskolben mit einem Arbeitspleuel und in dem Verdichterzylinder ein Verdichterkolben mit einem Verdichterpleuel vorgesehen ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Abtriebslager, welches Energie von wenigstens einem der Pleuel auf eine Abtriebswelle überträgt, verdichterpleuelseitig schwächer als arbeitspleuelseitig ausgebildet ist.
11. Axialkolbenmotor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Arbeitspleuel und Verdichterpleuel einstückig ausgebildet sind.
12. Axialkolbenmotor nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Arbeitspleuel und Verdichterpleuel koaxial zueinander ausgebildet sind.
13. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben brennkammerseitig aus Eisen oder Stahl gebildet ist.
14. Axialkolbenmotor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte Steuerkolben aus Eisen oder Stahl gebildet ist.
15. Axialkolbenmotor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Steuerkolben im Übrigen aus Aluminium gebildet ist.
16. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet

tet wird, wobei der Brennstoffstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens eine brennkammerseitige Oberfläche des Steuerkolbens verspiegelt ist.

- 5 17. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennstoffmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkammer einen Brennkammerboden aus verspiegelmtem Metall aufweist.
- 10
18. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem mit Brennkammerdruck beaufschlagten Bauteil und mit einem Ölkreislauf zur Schmierung, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ölkreislauf einen Motorkreislauf und einen Druckölkreislauf mit einem vom Motorölkreislauf verschiedenen Druckniveau aufweist.
- 15
19. Axialkolbenmotor nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Druckniveau des Druckölkreislaufes dem Brennkammerdruck entspricht.
- 20 20. Axialkolbenmotor nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Druckniveau des Druckölkreislaufes einem Verdichterdruck entspricht.
21. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölkreislauf bei einer Vollast des Axialkolbenmotors ein Druckniveau größer als 20 bar aufweist.
- 25 22. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölkreislauf bei einer Teillast des Axialkolbenmotors ein Druckniveau zwischen 5 bar und 20 bar aufweist.

23. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölkreislauf bei einem Leerlauf des Axialkolbenmotors und/oder bei einem Stillstand des Axialkolbenmotors ein Druckniveau unter 5 bar aufweist.
24. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass
5 der Motorölkreislauf einen Motorölsumpf und eine Motorölpumpe aufweist und der Druckölkreislauf einen Druckölsumpf und eine Druckölpumpe aufweist.
25. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölsumpf Mittel zum Erfassen eines Ölstandes aufweist.
26. Axialkolbenmotor nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der durch die Mittel
10 zum Erfassen eines Ölstandes ermittelte Ölstand des Druckölsumpfes ein minimaler und/oder ein maximaler Ölstand ist.
27. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Steuerkammer Bestandteil des Druckölkreislaufes ist.
28. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass
15 der Druckölkreislauf über eine Ladeleitung mit wenigstens einem Zylinder der Verdichterstufe verbunden ist.
29. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen wenigstens einem Zylinder der Verdichterstufe und dem Druckölkreislauf ein Ladeventil angeordnet ist.
30. Axialkolbenmotor nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Ladeventil mit
20 der Verdichterstufe wirkverbunden ist und eine Steuereinrichtung mit Mitteln zum Schalten aufweist.
31. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass das Ladeventil bei einem Ladedruck von 5 bar, bevorzugter 10 bar, am bevorzugtesten 30
25 bar schaltet.

32. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass das Ladeventil ein Rückschlagventil ist.
33. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ladeventil und dem Druckölkreislauf ein Ölabscheider angeordnet ist.
- 5 34. Axialkolbenmotor nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ablauf des Ölabscheiders mit dem Druckölsumpf verbunden ist.
35. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 29 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ladeventil und dem Druckölkreislauf ein Wasserabscheider angeordnet ist.
- 10 36. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Druckölsumpf und der Druckölpumpe sowie zwischen dem Motorölsumpf und der Druckölpumpe ein Ausgleichsventil angeordnet ist.
37. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 18 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Druckölsumpf und der Druckölpumpe sowie zwischen der Motorölpumpe und der Druckölpumpe ein Ausgleichsventil angeordnet ist.
- 15 38. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 36 oder 37, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgleichsventil mit den Mitteln zum Erfassen eines Ölstandes wirkverbunden ist.
39. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 36 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgleichsventil mit einer Steuereinrichtung wirkverbunden ist.
- 20 40. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 36 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgleichsventil in einem ersten Betriebszustand den Druckölsumpf mit der Druckölpumpe verbindet und in einem zweiten Betriebszustand den Motorölsumpf oder die Motorölpumpe mit der Druckölpumpe verbindet.
- 25 41. Axialkolbenmotor nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Betriebszustand der Teillast und/oder der Volllast des Axialkolbenmotors entspricht und der zweite Betriebszustand dem Leerlauf und/oder einem Stillstand des Axialkolbenmotors entspricht.

42. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 36 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Motorölsumpf und dem Ausgleichsventil oder zwischen der Motorölpumpe und dem Ausgleichsventil ein als Rückschlagventil ausgebildetes Rücklaufventil angeordnet ist.
- 5 43. Axialkolbenmotor nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass das Rücklaufventil eine Strömungsrichtung vom Motorölkreislauf zum Druckölkreislauf aufweist.
44. Axialkolbenmotor mit einer Brennmittelzufuhr und einer Abgasabfuhr, die wärmeübertragend miteinander gekoppelt sind, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Wärmeübertragerisolation.
- 10 45. Axialkolbenmotor nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeübertragerisolation zwischen einem Wärmeübertrager und einer Umgebung des Axialkolbenmotors einen maximalen Temperaturgradienten von 400 °C belässt.
46. Axialkolbenmotor nach Anspruch 44 oder 45, dadurch gekennzeichnet, dass eine Außentemperatur des Axialkolbenmotors im Bereich der Wärmeübertragerisolation 500 °C nicht übersteigt.
- 15 47. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 44 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeübertragerisolation zumindest eine Komponente aus einem von dem Wärmeübertrager abweichenden Material umfasst.
48. Axialkolbenmotor mit einer Brennmittelzufuhr und einer Abgasabfuhr, die wärmeübertragend miteinander gekoppelt sind, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens zwei Wärmeübertrager.
- 20 49. Axialkolbenmotor nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeübertrager axial angeordnet sind.
50. Axialkolbenmotor nach Anspruch 48 oder 49, gekennzeichnet durch wenigstens vier
25 Kolben, wobei die Abgase wenigstens zweier benachbarter Kolben in jeweils einen Wärmeübertrager geleitet werden.

51. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 48 bis 50, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgase dreier Kolben in einen gemeinsamen Wärmeübertrager geleitet werden.
52. Axialkolbenmotor nach Anspruch 48 oder 49, gekennzeichnet durch wenigstens zwei Kolben, wobei die Abgase jedes Kolbens in jeweils einen Wärmeübertrager geleitet werden.
53. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe und mit wenigstens einem Wärmeübertrager, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der wärmeaufnehmende und/oder der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers stromabwärts und/oder stromaufwärts Mittel zur Aufgabe wenigstens eines Fluides aufweist.
54. Axialkolbenmotor nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid Wasser und/oder Brennstoff ist.
55. Axialkolbenmotor nach Anspruch 53 oder 54, dadurch gekennzeichnet, dass im wärmeabgebenden Teil des Wärmeübertragers oder stromabwärts des wärmeabgebenden Teils des Wärmeübertragers ein Wasserabscheider angeordnet ist.
56. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben zusätzlich zu der vom Steuertrieb aufgebracht Kraft an seiner der Brennkammer abgewandten Seite mit einer dem Brennkammerdruck entgegengerichteten Kompensationskraft beaufschlagt ist.

57. Axialkolbenmotor nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationskraft mechanisch, beispielsweise über Federn, aufgebracht ist.
58. Axialkolbenmotor nach Anspruch 56 oder 57, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationskraft hydraulisch, beispielsweise über einen Öldruck, aufgebracht ist.
- 5 59. Axialkolbenmotor nach einem Ansprüche 56 bis 58, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensationskraft pneumatisch, insbesondere über einen Verdichterdruck, aufgebracht ist.
- 10 60. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben in einem Druckraum angeordnet ist.
- 15 61. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuertrieb eine Steuerwelle umfasst, welche den Steuerkolben antreibt und mit einer Wellendichtung zusammenwirkt, welche einerseits mit Verdichterdruck beaufschlagt ist.
- 20 62. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verdichterstufe ein von der Expanderstufe verschiedenes Hubvolumen aufweist.
- 25

63. Axialkolbenmotor nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet, dass das Hubvolumen der Verdichterstufe kleiner ist als das Hubvolumen der Expanderstufe.
64. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 62 oder 63, dadurch gekennzeichnet, dass ein Einzelhubvolumen wenigstens eines Zylinders der Verdichterstufe kleiner ist als das Einzelhubvolumen wenigstens eines Zylinders der Expanderstufe.
- 5
65. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 62 bis 64, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Zylinder der Verdichterstufe gleich oder geringer ist als die Anzahl der Zylinder der Expanderstufe.
66. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens ein Zylinder der Verdichterstufe wenigstens ein Gaswechselventil aus einem Leichtmetall aufweist.
- 10
67. Axialkolbenmotor nach Anspruch 66, dadurch gekennzeichnet, dass das Leichtmetall Aluminium oder eine Aluminiumlegierung, insbesondere Dural, ist.
- 15
68. Axialkolbenmotor nach Anspruch 66 oder 67, dadurch gekennzeichnet, dass das Gaswechselventil ein Einlassventil ist.
69. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterzylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, wobei der Brennmittelstrom von der Brennkammer zu dem Arbeitszylinder über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird, der von einem Steuertrieb angetrieben wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben einen mit einem bei Betriebstemperatur des Axialkolbenmotors flüssigem Metall gefüllten Hohlraum oder einen mit einer bei Betriebstemperatur des Axialkolbenmotors flüssigen Metalllegierung gefüllten Hohlraum aufweist.
- 20
- 25

70. Axialkolbenmotor nach Anspruch 69, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall oder die Metalllegierung wenigstens Natrium aufweist.
71. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer
5 Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem Steuerkolben sowie einem Kanal zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe, wobei der Steuerkolben und der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt mit einer Hauptstromrichtung aufweisen, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben eine Leitfläche parallel zu der Hauptstromrichtung aufweist.
10
72. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem Steuerkolben sowie einem Kanal zwischen der Brennkammer und der
15 Expanderstufe, wobei der Steuerkolben und der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt mit einer Hauptstromrichtung aufweisen, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben eine Prallfläche senkrecht zu der Hauptstromrichtung aufweist.
20
73. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem Steuerkolben sowie einem Kanal zwischen der Brennkammer und der
25 Expanderstufe, wobei der Steuerkolben sowie der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt aufweisen und die Bewegung des Steuerkolbens entlang einer Längsachse des Steuerkolbens erfolgt, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben eine Leitfläche in einem spitzen Winkel zu der Längsachse des Steuerkolbens aufweist.

74. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, mit wenigstens einem Steuerkolben sowie einem Kanal zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe, wobei der Steuerkolben sowie der Kanal einen durch eine Bewegung des Steuerkolbens freigegebenen Strömungsquerschnitt aufweisen und die Bewegung des Steuerkolben entlang einer Längsachse des Steuerkolbens erfolgt, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben eine Prallfläche in einem spitzen Winkel zu der Längsachse des Steuerkolbens aufweist.
75. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 71 bis 74, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitfläche und/oder die Prallfläche eine ebene Fläche, eine sphärische Fläche, eine zylindrische Fläche oder eine kegelige Fläche ist.
76. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 71 bis 75, dadurch gekennzeichnet, dass der Axialkolbenmotor zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe eine Leitflächendichtfläche aufweist, wobei die Leitflächendichtfläche parallel zur Leitfläche ausgebildet ist und in einem oberen Totpunkt des Steuerkolbens mit der Leitfläche zusammenwirkt.
77. Axialkolbenmotor nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitflächendichtfläche kanalseitig in eine Oberfläche senkrecht zur Längsachse des Steuerkolbens übergeht.
78. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 71 bis 77, dadurch gekennzeichnet, dass der Axialkolbenmotor zwischen der Brennkammer und der Expanderstufe eine Schaftdichtfläche aufweist, wobei die Schaftdichtfläche parallel zur Längsachse des Steuerkolbens ausgebildet ist und mit einer Oberfläche eines Schaftes des Steuerkolbens zusammenwirkt.
79. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 71 bis 78, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitfläche, die Prallfläche, die Leitflächendichtfläche, die Schaftdichtfläche und/oder die Oberfläche des Schaftes des Steuerkolbens eine verspiegelte Oberfläche aufweisen.

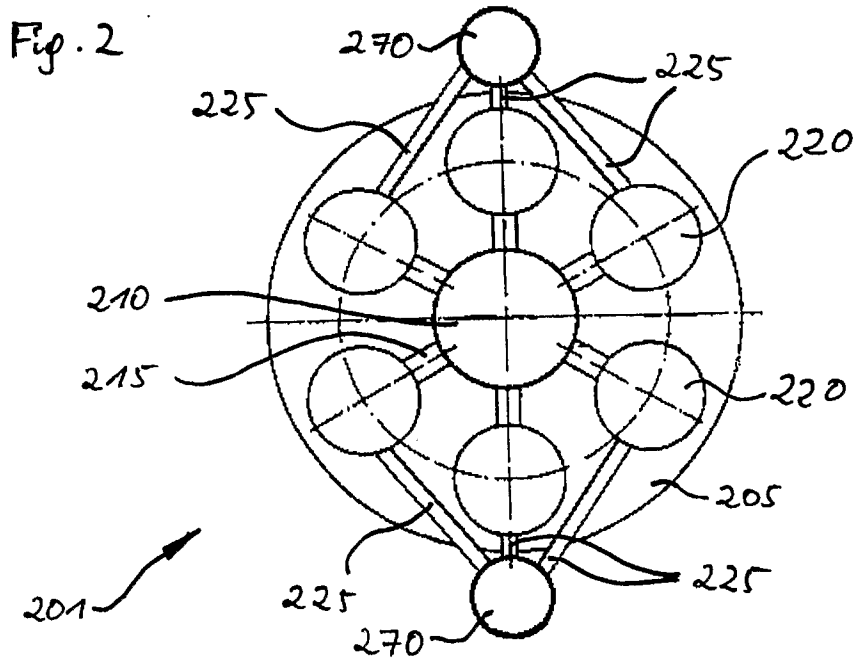
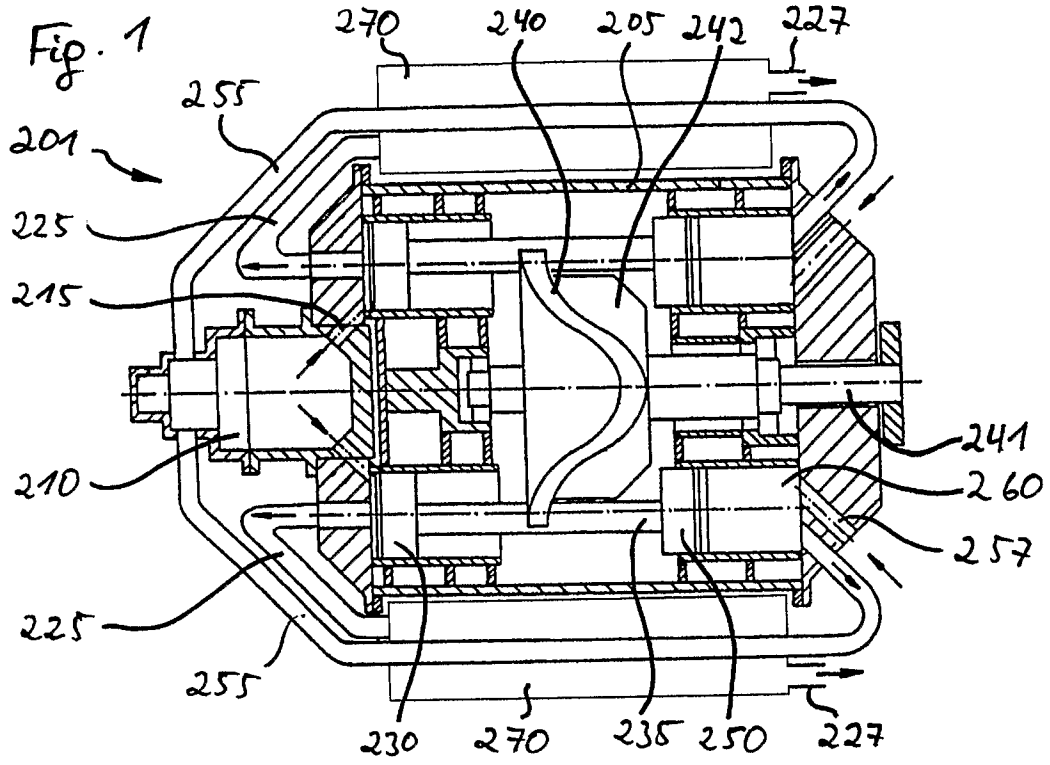
80. Axialkolbenmotor mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, wobei der Axialkolbenmotor ein oszillierendes sowie einen Strömungsquerschnitt freigebendes Gaswechselventil umfasst und das Gaswechselventil diesen Strömungsquerschnitt mittels einer an das Gaswechselventil angreifenden Federkraft der Ventildfeder verschließt, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gaswechselventil eine Prallfeder aufweist.
- 5
81. Axialkolbenmotor nach Anspruch 80, dadurch gekennzeichnet, dass die Prallfeder eine kleinere Federlänge als eine Federlänge der Ventildfeder aufweist.
- 10
82. Axialkolbenmotor nach Anspruch 81, dadurch gekennzeichnet, dass die Federlänge der Prallfeder der um einen Ventilhub des Gaswechselventils verringerten Federlänge der Ventildfeder entspricht.
83. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 80 bis 82, dadurch gekennzeichnet, dass die Federlänge der Prallfeder einer um einen Federweg der Prallfeder erhöhten Höhe einer Ventildfeder entspricht.
- 15
84. Axialkolbenmotor nach den Ansprüchen 80 bis 83, dadurch gekennzeichnet, dass die Prallfeder bei Erreichen des Federweges der Prallfeder eine potentielle Energie aufweist, welche der maximalen betriebsbedingten kinetischen Energie des Gaswechselventils bei einem Freigeben des Strömungsquerschnittes entspricht.
- 20
85. Axialkolbenmotor nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine innere kontinuierliche Verbrennung (ikV).
86. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, wobei ein Brennstoffstrom von der Brennkammer unter Brennkammerdruck zum Zylinder der Expanderstufe über wenigstens einen Steuerkolben gesteuert wird und der Axialkolbenmotor einen Ölkreislauf zur Schmierung aufweist, **dadurch ge-**
- 25

kennzeichnet, dass der Ölkreislauf in einen Motorölkreislauf und in einen Druckölkreislauf aufgeteilt wird und mit Brennkammerdruck beaufschlagte Bauteile des Axialkolbenmotors durch den Druckölkreislauf geschmiert werden.

- 5 87. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 85, dadurch gekennzeichnet, dass der auf den Steuerkolben wirkende Brennkammerdruck durch ein in einer Steuerkammer bestehendes und dem Brennkammerdruck entsprechendes Druckniveau kompensiert wird.
- 10 88. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach den Ansprüchen 85 oder 87, dadurch gekennzeichnet, dass das dem Brennkammerdruck entsprechende Druckniveau in der Steuerkammer durch die Verdichterstufe bereitgestellt wird.
89. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 85 bis 88, dadurch gekennzeichnet, dass bei Unterschreiten eines minimalen Ölstandes in einem Druckölsumpf der Druckölkreislauf mit Öl aus dem Motorölkreislauf befüllt wird.
- 15 90. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 85 bis 89, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölkreislauf mit dem Motorölkreislauf bei Leerlauf und/oder bei Stillstand des Axialkolbenmotors verbunden wird.
- 20 91. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 85 bis 90, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckölkreislauf mit dem Motorölkreislauf bei einem Druckunterschied kleiner als 5 bar zwischen dem Druckölkreislauf und dem Motorölkreislauf verbunden wird.
- 25 92. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe und mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Brennmittel während der Expansion in der Expanderstufe mit einem größeren Druckverhältnis als ein während der Verdichtung in der Verdichterstufe vorliegendes Druckverhältnis expandiert wird.

93. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 92, dadurch gekennzeichnet, dass das Brennmittel in der Expanderstufe annähernd bis zu einem Umgebungsdruck expandiert wird.
- 5 94. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Verdichterstufe, mit einer wenigstens einen Zylinder umfassenden Expanderstufe, mit wenigstens einer Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe und mit wenigstens einem Wärmeübertrager, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der 10 Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem durch den Wärmeübertrager strömende Brennmittelstrom und/oder dem durch den Wärmeübertrager strömende Abgasstrom wenigstens ein Fluid aufgegeben wird.
- 15 95. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, dass Wasser und/oder Brennstoff aufgegeben werden.
96. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 94 oder 95, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid stromabwärts und/oder stromaufwärts des Wärmeübertragers aufgegeben wird.
- 20 97. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 94 bis 96, dadurch gekennzeichnet, dass abgeschiedenes Wasser dem Brennmittelstrom und/oder dem Abgasstrom erneut aufgegeben wird.
- 25 98. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 94 bis 97, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufgabe von Wasser und/oder Brennstoff zu einem definierten Zeitpunkt vor einem Stillstand des Axialkolbenmotors gestoppt wird und der Axialkolbenmotor bis zum Stillstand ohne eine Aufgabe von Wasser und/oder Kraftstoff betrieben wird.
99. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers eines Axialkolbenmotors, welcher eine wenigstens einen Zylinder umfassende Verdichterstufe und eine wenigstens einen

- Zylinder umfassende Expanderstufe sowie wenigstens eine Brennkammer zwischen der Verdichterstufe und der Expanderstufe aufweist, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist und wobei der Wärmeübertrager wenigstens eine den wärmeabgebenden Teil von dem wärmeaufnehmenden Teil des Wärmeübertragers abgrenzende Wandung eines Rohres zur Trennung zweier Stoffströme umfasst, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rohr in wenigstens einer aus einem dem Rohr entsprechenden Werkstoff bestehenden Matrize angeordnet wird und stoffschlüssig und/oder kraftschlüssig mit dieser Matrize verbunden wird.
- 5
- 10
100. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers nach Anspruch 99, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoffschluss zwischen dem Rohr und der Matrix durch Schweißen oder Löten erfolgt.
- 15
101. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers nach den Ansprüchen 99 oder 100, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftschluss zwischen dem Rohr und der Matrix durch Schrumpfen erfolgt.



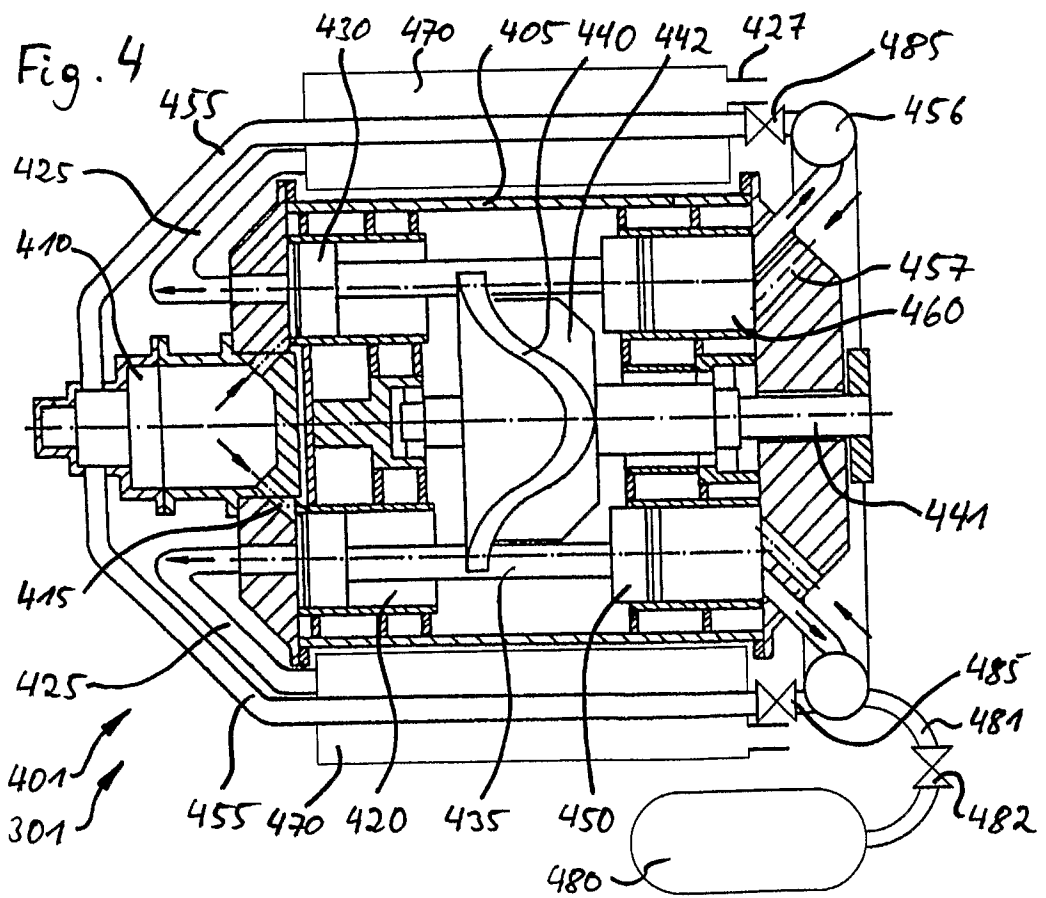
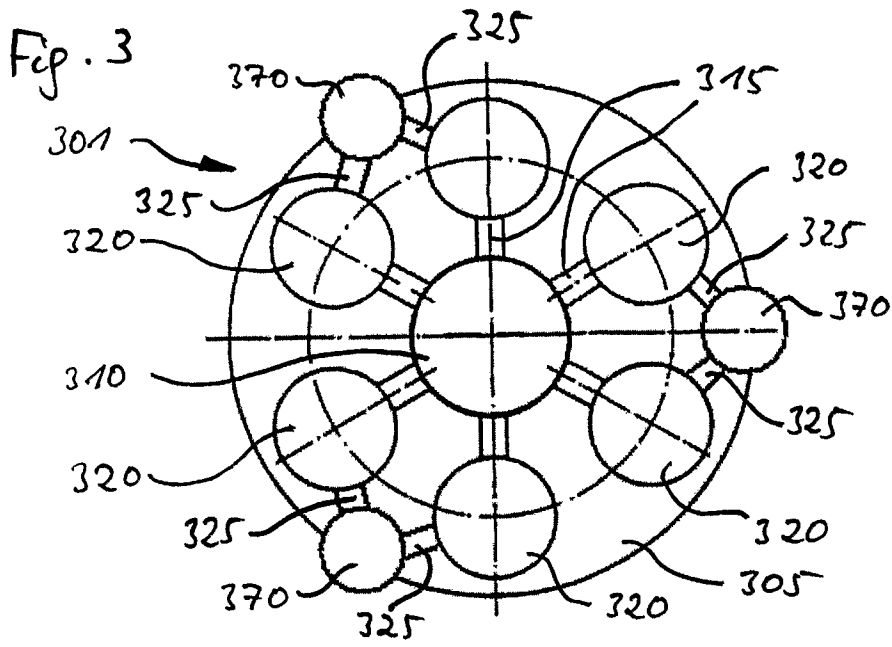


Fig. 6

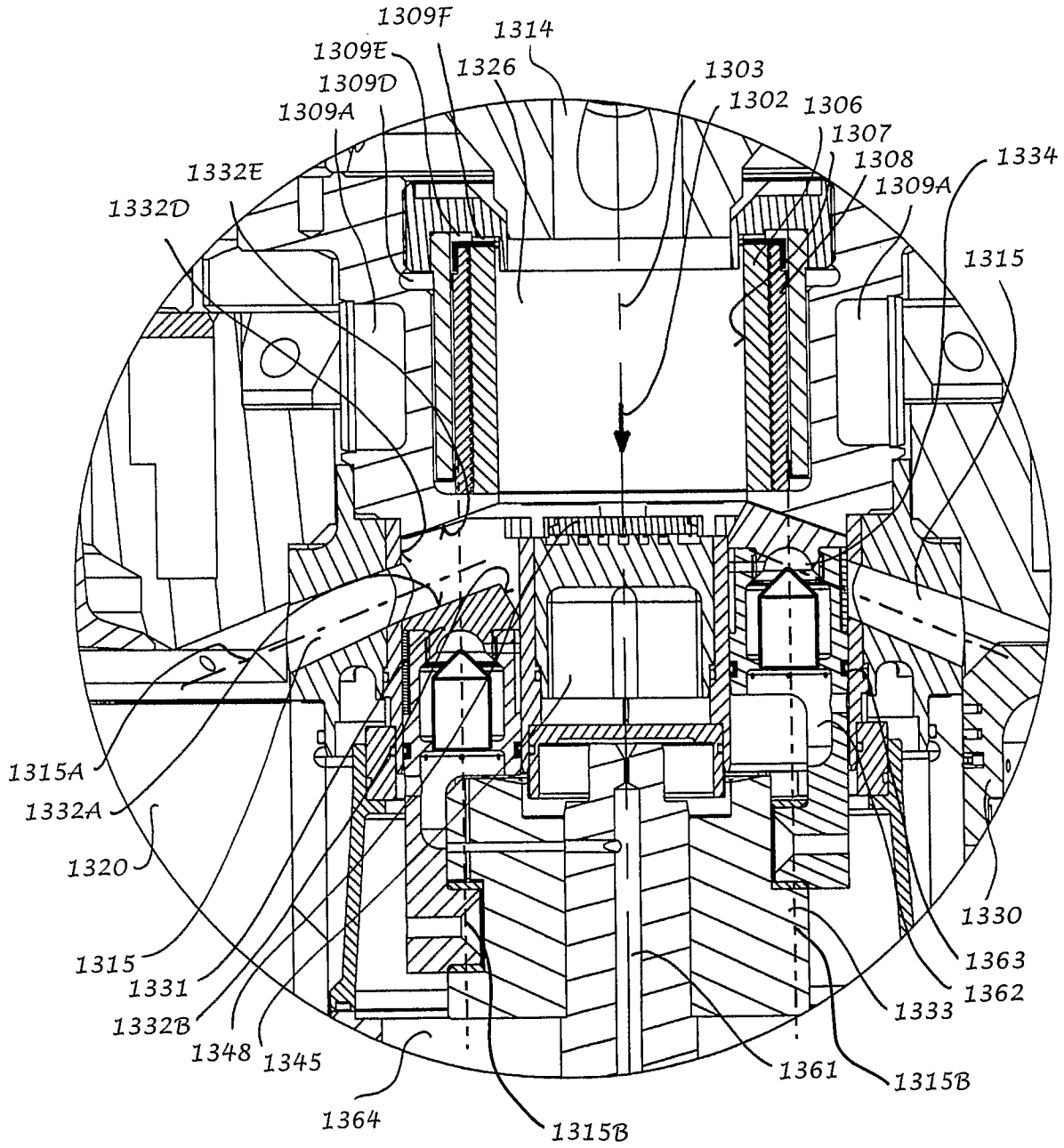
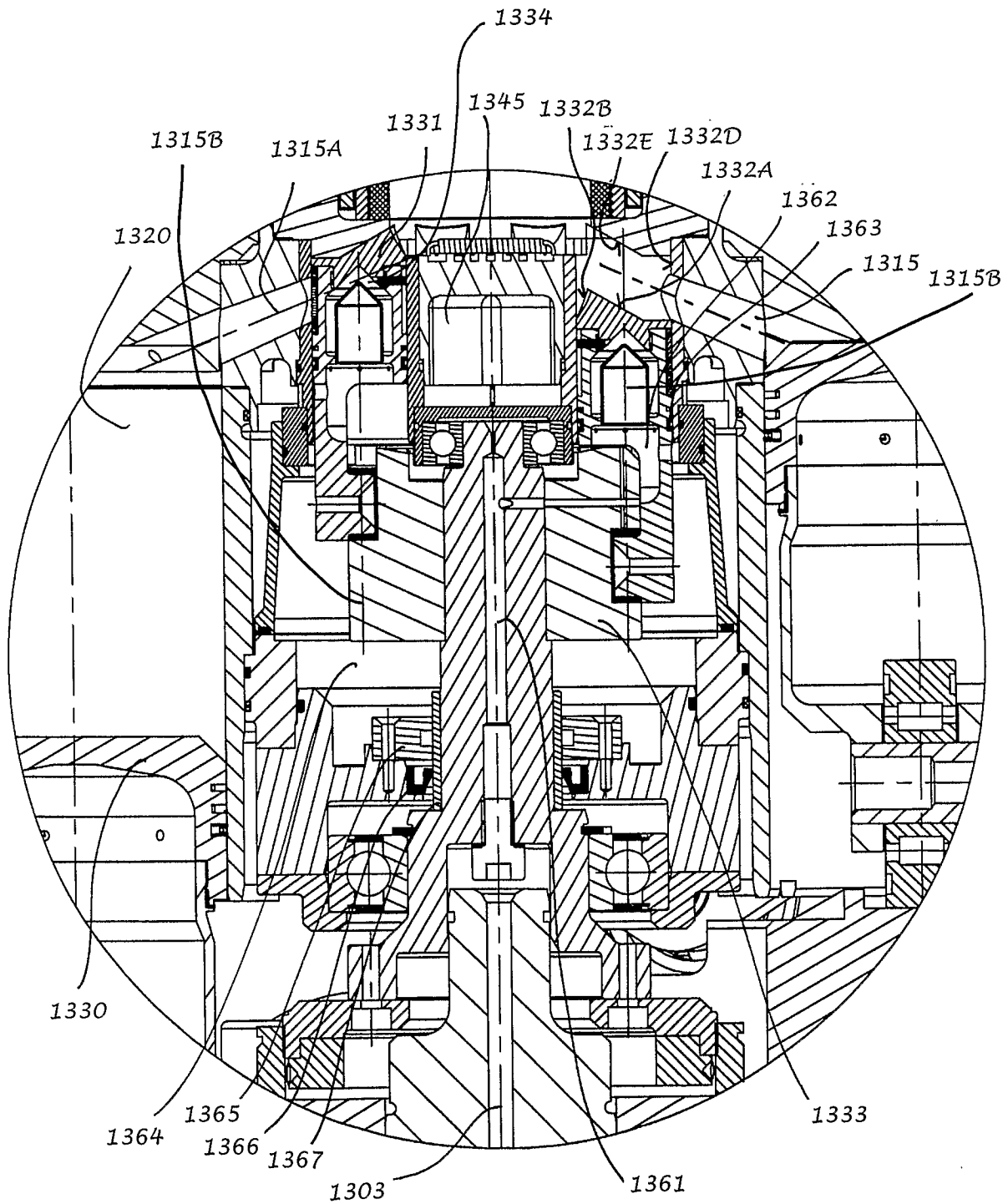


Fig. 7



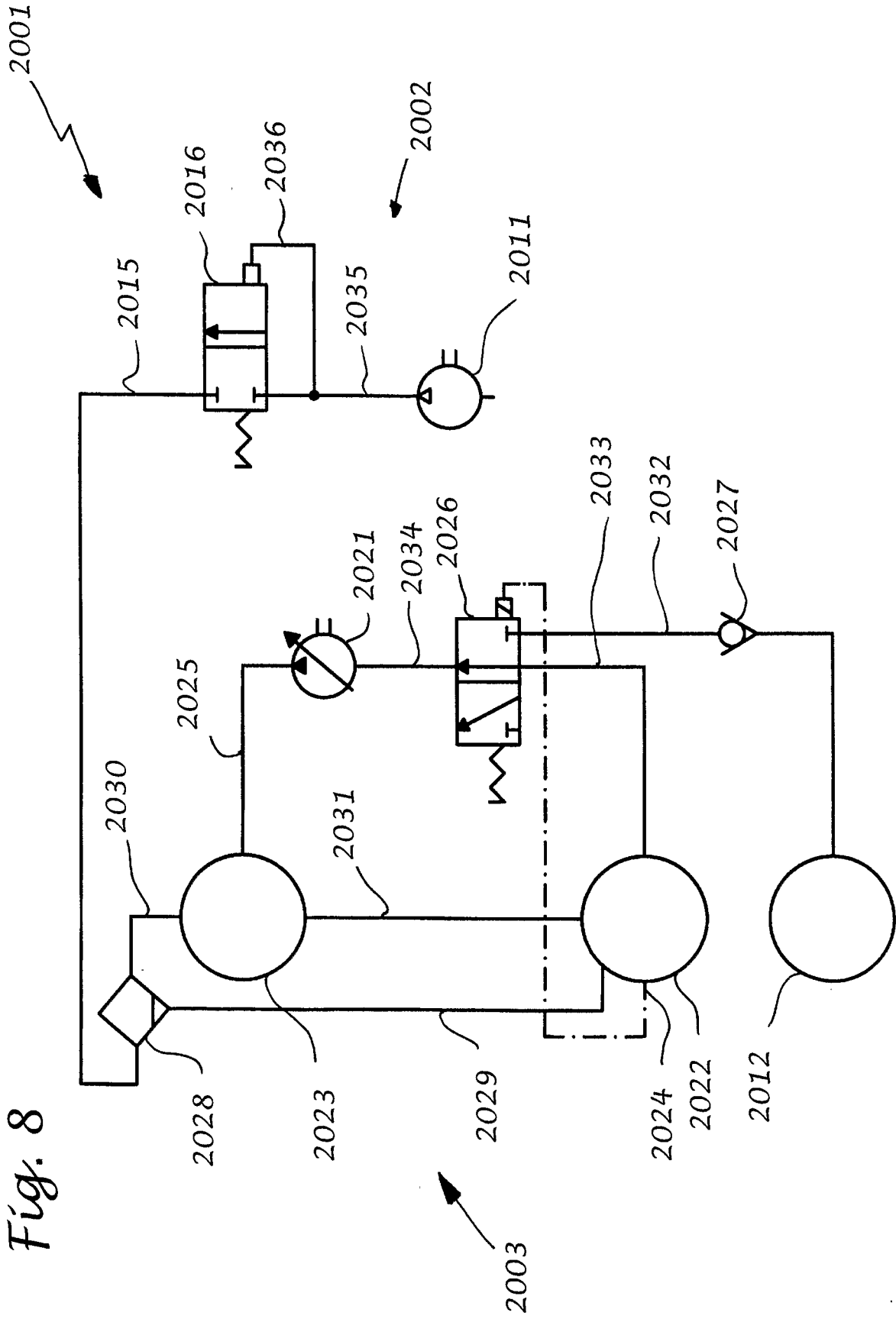


Fig. 9

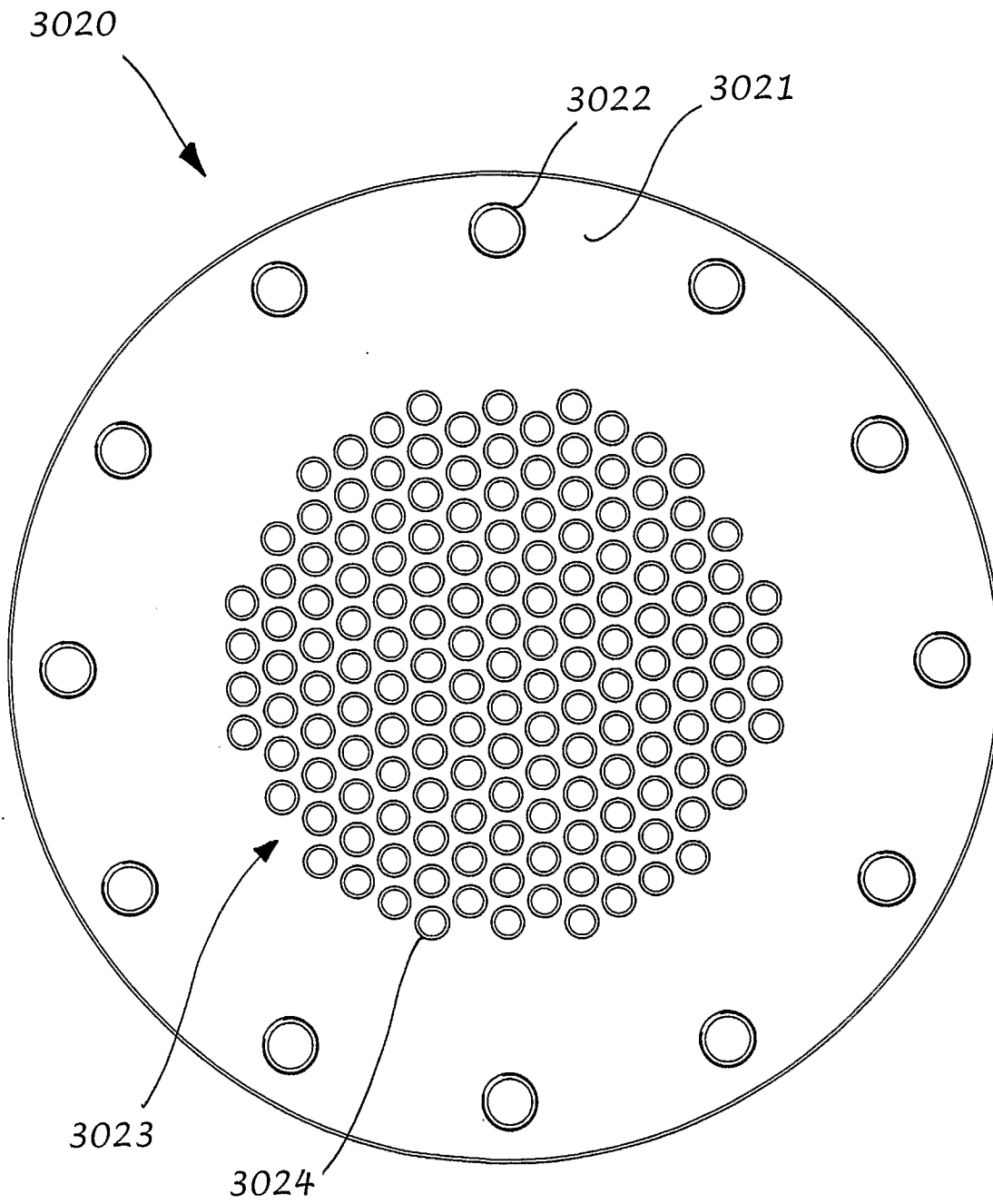


Fig. 10

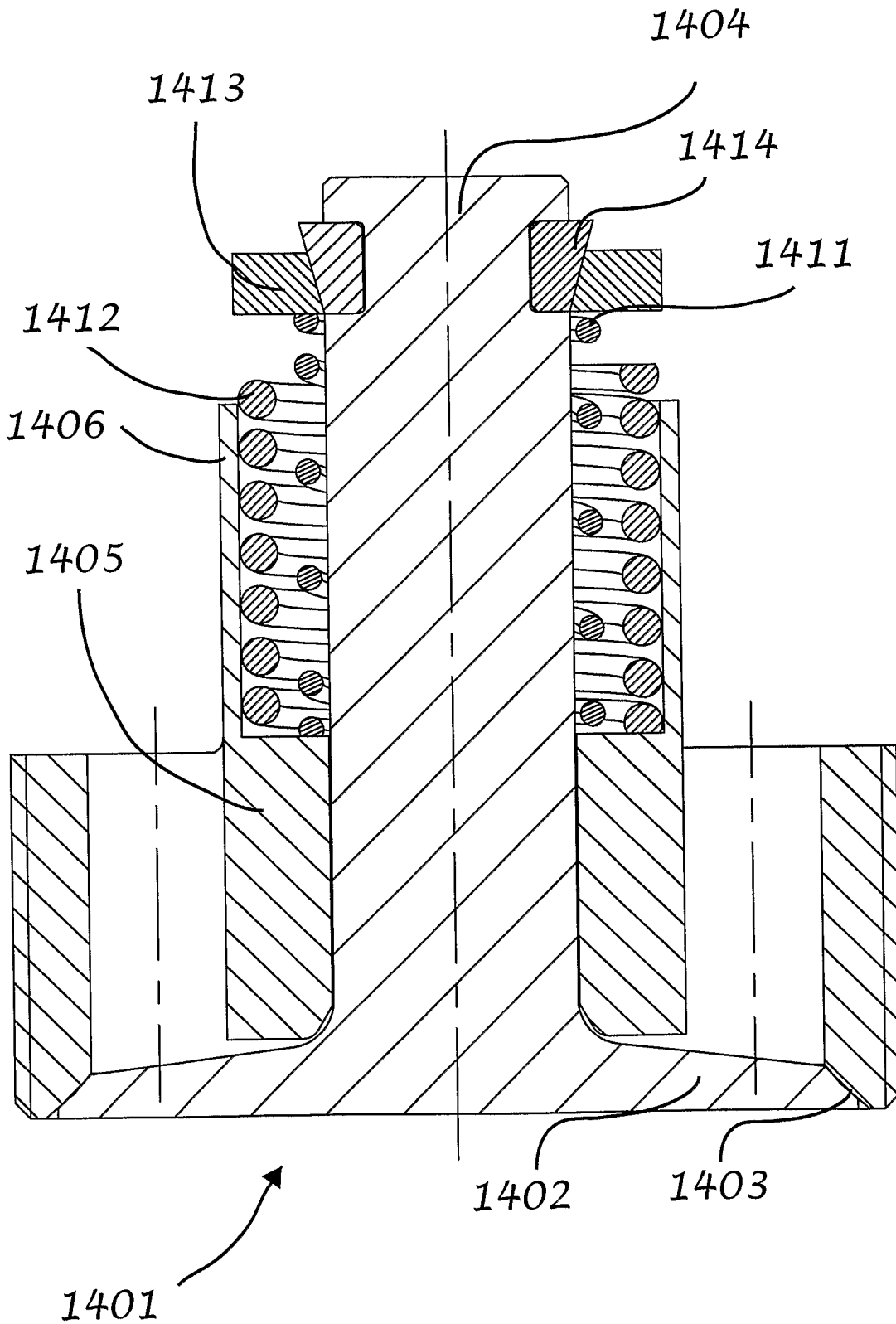


Fig. 11

