

(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 2011/009451 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2010/000874
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
26. Juli 2010 (26.07.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 034 738.0 24. Juli 2009 (24.07.2009) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** GETAS GESELLSCHAFT FÜR THERMO-DYNAMISCHE ANTRIEBSSYSTEME MBH [DE/DE]; Roonstr.11, 52351 Düren (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** VOIGT, Dieter [DE/DE]; Weingarten 10, 52074 Aachen (DE). ROHS, Ulrich [DE/DE]; Roonstr. 11, 52351 Düren (DE).
- (74) **Anwalt:** REUTHER, Martin; Zehnthofstrasse 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)



WO 2011/009451 A2

(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 comprising at least one working cylinder fed by a continuously operating combustion chamber comprising a pre-combustion chamber and a main combustion chamber. To this end, the axial-piston motor is provided with a pre-combustion chamber comprising a check valve.

(57) **Zusammenfassung:** Um den Wirkungsgrad eines Axialkolbenmotors mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, zu verbessern, wird ein Axialkolbenmotor mit einer ein Rückschlagventil aufweisenden Vorbrennkammer vorgeschlagen.

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

[01] Die Erfindung betrifft einen Axialkolbenmotor. Ebenso betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers eines Axialkolbenmotors.

[02] 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.

[03] 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.

[04] 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 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. Auch kann das Brennmittel katalytisch oder an anderer Stelle wirksame Komponenten, wie besondere chemische Zusätze oder aber auch Wasser, umfassen.

[05] 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 [06] Axialkolbenmotoren können darüber hinaus einerseits mit rotierenden Kolben, und entsprechend rotierenden Zylindern, arbeiten, die sukzessive an einer Brennkammer vorbeigeführt werden.

[07] Andererseits können Axialkolbenmotoren stationäre Zylinder aufweisen, wobei das Arbeitsmedium dann sukzessive auf die Zylinder entsprechend der gewünschten Belastungsreihenfolge verteilt wird.
10

[08] Die in der EP 1 035 310 A2 und der WO 2009/062473 A2 offenbarten Axialkolbenmotoren weisen 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
15 vorgesehen sind. Insofern kann derartigen Axialkolbenmotoren eine Verdichter- und eine Arbeitsseite zugeordnet werden.

[09] 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
20 zu den Begriffen „Expansionsstufe“ bzw. „Expanderstufe“, wobei eine „Expanderstufe“ bzw. „Expansionsstufe“ die Gesamtheit aller hierin befindlicher „Expansionszylinder“ bzw. „Expanderzylinder“ bezeichnet.

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

25 [11] Diese Aufgabe wird von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, gelöst, welcher sich durch eine Vorbrennkammer mit einem Rückschlagventil auszeichnet.

[12] Dadurch, dass die Vorbrennkammer des Axialkolbenmotors wenigstens einen Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, und ein Rückschlagventil aufweist, kann insbesondere bei Startvorgängen eine Verbrennung besonders gut vergleichmäßig werden, wodurch sich der Wirkungsgrad des vorliegenden Axialkolbenmotors weiter verbessern lässt.

[13] Als Rückschlagventil kann jegliche Einrichtung zum Einsatz gelangen, welche gegenüber Hitze gut resistent sind. Beispielsweise verfügt ein derartiges Rückschlagventil über eine Keramikventilkugel, die gegen einen Ventilsitz läuft, sobald das Rückschlagventil dichten soll. Es kann aber auch jegliche andere Ventilanordnung zur Anwendung kommen, mittels welcher verhindert werden kann, dass etwa heiße Gase in kritischem Maße in eine Brennmittelzuleitung, beispielsweise in eine Verbrennungsluftzuleitung, hineinschlagen können.

[14] Somit können mit dem Rückschlagventil kritische Rückstöße in eine Brennmittelzuleitung hinein konstruktiv einfach unterbunden werden. Derartige Rückschlagventile sind im Zusammenhang mit einer Vorbrennkammer bei Axialkolbenmotoren, insbesondere hinsichtlich einer inneren kontinuierlichen Verbrennung, aus dem Stand der Technik nicht bekannt.

[15] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsvariante sieht vor, dass das Rückschlagventil in einer Brennmittelzuleitung angeordnet ist. Hierdurch kann das Rückschlagventil bereits vor einem Zugang zu einem Brennraum der Vorbrennkammer angeordnet sein.

[16] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Rückschlagventil in einer Kraftstoffzuleitung angeordnet ist. Hierbei können kritische Rückstöße in die Kraftstoffzuleitung hinein und damit auch einhergehende Störungen innerhalb der Brennkammer der Vorbrennkammer vorteilhaft unterbunden werden. Dies kann zu einer erheblichen Verbesserung des Wirkungsgrads beitragen.

[17] Kumulativ oder alternativ kann das Rückschlagventil auch in einer Verbrennungsluftzuleitung angeordnet sein. Hierdurch lassen sich Rückstöße von gezündetem Brennmittel in die Verbrennungsluftzufuhr hinein und eine damit einhergehende Störung einer diesbezüglichen Verbrennungsluftzuströmung gut verhindern.

[18] Darüber hinaus kann das Rückschlagventil vorteilhafter Weise auch in einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel angeordnet sein. Auf diese Weise kann das Rückschlagventil für beide zu mischenden Komponenten entsprechend wirksam werden.

[19] Die Aufgabe der Erfindung wird ebenfalls von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, bei welchem die Vorbrennkammer eine Kraftstoffaufbereitung umfasst.

[20] Vorteilhafter Weise kann mittels einer derartigen Kraftstoffaufbereitung die Verbrennung von Brennmittel verfahrenstechnisch leicht beeinflusst werden, wodurch ebenfalls eine Effizienzsteigerung hinsichtlich des Wirkungsgrads des vorliegenden Axialkolbenmotors erzielt werden kann. Insbesondere kann erreicht werden, zu möglichst vielen Betriebssituationen des Axialkolbenmotors eine blaue Flamme in der Vorbrennkammer zu gewährleisten, sodass stets eine optimale Verbrennung der Brennmittel erzielt werden kann. In diesem Zusammenhang wird unter einer Kraftstoffaufbereitung jede auf den Kraftstoff bzw. den Brennstoff wirkende Maßnahme, die seine Verbrennung fördert, bevor dieser in eine Vorbrennkammer gelangt verstanden. Insbesondere betrifft dieses eine Kraftstoffaufbereitung, ohne dass dieser bereits mit Verbrennungsluft in Kontakt gekommen ist. Andererseits kann die erfindungsgemäße Kraftstoffaufbereitung der Vorbrennkammer auch eine Aufbereitung von Brennmittel allgemein, also von Kraftstoff bzw. Brennstoff und von Verbrennungsluft sowie sonstiger Komponenten, umfassen.

[21] Eine besonders bevorzugte Ausführungsvariante des der Erfindung zu Grunde liegenden Axialkolbenmotors sieht vor, dass die Kraftstoffaufbereitung eine Kraftstoffheizung, beispielsweise eine Glühkerze, eine Glühwendel, eine Induktionsheizung oder eine Laserheizung, umfasst. Ein vorteilhaftes Aufheizen des Kraftstoffs kann realisiert werden, wenn der Kraftstoff bereits vor einer Einspritzdüse durch Abgase des Axialkolbenmotors vorgewärmt wird. Zwar ist es bekannt, Verbrennungsluft mittels Abgasen vorzuwärmen, jedoch ist es in diesem Zusammenhang nicht bekannt, kumulativ oder alternativ einen Kraftstoff vorzuwärmen.

[22] Durch eine derartige Kraftstoffheizung können Kraftstoffe vorteilhaft aufgeheizt werden, sodass ein Zündverhalten und/oder eine Verbrennung der Kraftstoffe weiter optimiert wer-

den können. Insbesondere kann ein aufbereiteter, vor allem vorgewärmter Kraftstoff in der Vorbrennkammer leichter verdampfen. Auch kann sich die Verbrennungsluft mit dem Kraftstoff wesentlich besser durchmischen, wodurch die Verbrennung effektiver ablaufen kann.

[23] Eine Kraftstoffaufbereitung kann insbesondere mit den vorstehend beispielhaft genannten Kraftstoffheizungen vorteilhaft erfolgen, wenn beim Start des Axialkolbenmotors die Kraftstoffheizung eine Leistung von ca. 200 W aufweist. Hierdurch kann eine Verdampfung des Kraftstoffs gefördert werden. Im Dauerbetrieb kann die Leistung auf ca. 80 W reduziert werden.

[24] Durch eine zusätzliche Erwärmung des Kraftstoffes durch Abgase kann die letztgenannte Leistung gegebenenfalls nochmals reduziert werden. Jedenfalls kann der Kraftstoff auch durch ein Abgas aufgeheizt werden. Diese Abgastemperatur kann bei geeigneter Ausgestaltung schon ausreichen, den Kraftstoff bis zur Zündtemperatur vorzuheizen, sodass er bei Kontakt mit dem übrigen Brennmittel, insbesondere mit der Verbrennungsluft, eigenständig und sofort entzünden kann.

[25] Zur Verdampfung werden etwa 250 °C für Benzin bis zu 1350 °C für Diesel benötigt. Durch Zuführen von Verbrennungsluft über verschiedene Zuluftlöcher kann gegebenenfalls ergänzend die Temperatur leicht gesteuert werden. Bei der Kraftstoffaufheizung durch eine Glühwendel kann insbesondere ein temperaturabhängiger Widerstand zur Anwendung kommen, der über seine Temperaturabhängigkeit selbstregelnd wirkt.

[26] Vorteilhaft ist es weiter, wenn die Kraftstoffaufbereitung vor einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel angeordnet ist. Hierdurch gelingt idealerweise eine vorteilhafte Erhitzung des Kraftstoffs bereits vor einem Vermischen des Kraftstoffs mit übrigen Brennmitteln, wodurch eine wesentlich innigere Vermischung erfolgen kann. Insofern kann hierdurch ebenfalls eine Wirkungsgradverbesserung erzielt werden.

[27] Eine außergewöhnlich gute Verbrennung der Brennmittel kann gewährleistet werden, wenn die Kraftstoffaufbereitung den Kraftstoff vor Eintritt in die Vorbrennkammer bzw. vor Eintritt in das Mischrohr verdampft. Insbesondere kann hierdurch das Entstehen von Rußpartikeln idealerweise zur Gänze unterbunden werden, wodurch gegebenenfalls eine nachgelagerter Aufbereitung von Abgasen vereinfacht werden kann.

[28] Des Weiteren wird die Aufgabe der vorliegenden Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst und bei welchem die Vorbrennkammer einen exzentrischen Brennmittleintritt aufweist.

5 [29] Durch einen solchen exzentrisch angeordneten Brennmittleintritt in die Vorbrennkammer kann eine außergewöhnlich gute Flammstabilität erzielt werden, insbesondere in Kombination mit dem oben dargestellten Rückschlagventil. Vermutlich gelingt dies durch eine außerordentlich gute Verwirbelung der Brennmittel innerhalb der Vorbrennkammer. Vorteilhafter Weise folgt hieraus ein nochmals verbesserter Wirkungsgrad ebenso wie ein nochmals verringerter
10 Schadstoffausstoß.

[30] Ein solcher exzentrischer Brennmittleintritt zeichnet sich vorliegend auch dadurch aus, dass die Mittelachse eines diesbezüglichen Bauteils, wie etwa eine Einspritzdüse, oder einer diesbezüglichen Bauteilgruppe exzentrisch zu der Mittelachse der Vorbrennkammer angeordnet ist. Hierdurch unterscheidet sich der vorliegende Brennmittleintritt von einem Brennmittleintritt eines Löcherkranzes aus der internationalen Patentanmeldung WO 2009/062473 A2, dessen
15 Mittelachse mit der Mittelachse der zugehörigen Brennkammer fluchtet.

[31] Kumulativ oder alternativ wird die Aufgabe der Erfindung auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst,
20 und wobei sich der Axialkolbenmotor durch einen Vorbrenner mit einer Zündkerze auszeichnet.

[32] Weist der Vorbrenner eine Zündkerze auf, kann insbesondere das Starten des Axialkolbenmotors wesentlich verbessert und vereinfacht werden, wodurch im Ergebnis der Wirkungsgrad des Axialkolbenmotors ebenfalls gesteigert wird, speziell dann, wenn der Axialkolbenmotor in ein Hybridkonzept eingebettet und speziell im Stadtverkehr häufig ein- und ausgeschaltet
25 werden soll.

[33] Insbesondere auf das Startverhalten des Axialkolbenmotors kann besonders gut Einfluss genommen werden, wenn die Zündkerze in einem Brennraum der Vorbrennkammer, also in der Vorbrennkammer, angeordnet ist.

- [34] Aber auch wenn die Zündkerze in einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel der Vorbrennkammer angeordnet ist, kann der Betrieb des Axialkolbenmotors sehr günstig beeinflusst werden.
- [35] Durch das vorstehend beschriebene Vorsehen einer derartigen Zündkerze können insbesondere härtere Schläge des Axialkolbenmotors beim Zünden vermieden werden.
- [36] Idealerweise ist die Zündkerze hierbei nahe dem Eintritt des Brennmittels vorgesehen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass es vorteilhaft ist, wenn die Zündkerze im Bereich des maximalen Brennkammerdurchmessers angeordnet ist. Beides kann sich besonders vorteilhaft auf die Laufruhe des Axialkolbenmotors auswirken.
- 10 [37] Auch wird die Aufgabe der Erfindung von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, wobei sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass die Vorbrennkammer zwei Verbrennungslufteingänge aufweist.
- 15 [38] Vorteilhafter Weise kann mittels mehrerer Verbrennungslufteingänge das Verbrennungsluftverhältnis Lambda (λ), also das Verhältnis von Sauerstoff zu Kraftstoff, besonders unproblematisch eingestellt werden. Bekannter Weise lässt sich bei einem Wert $\lambda = 1$ der gesamte Kraftstoff gut verbrennen, da genauso viel Sauerstoff zur Verfügung steht, wie zum Verbrennen des gesamten Kraftstoffs erforderlich ist. Oder aber es wird ein magereres Verbrennungsgemisch mit einem Wert $\lambda > 1$ mit einem Sauerstoffüberschuss eingestellt. Aber auch ein
20 fetteres Verbrennungsgemisch mit Lambda < 1 und einem Sauerstoffdefizit kann besonders gleichmäßig und schnell eingestellt werden, wenn zwei Verbrennungslufteingänge vorgesehen sind.
- [39] Eine Regelung der beiden Verbrennungslufteingänge kann hierbei drehzahlabhängig
25 erfolgen. Alternativ kann eine Regelung aber auch leistungsabhängig vorgenommen werden, sodass in beiden Fällen eine wesentlich bessere Regelung der Verbrennungsluftzufuhr erzielt werden kann. Beispielsweise wird der zweite oder ein weiterer Verbrennungslufteingang zugeschaltet, wenn dies bei einem Betriebszustand des Axialkolbenmotors vorteilhaft ist.

[40] Sind zudem die beiden Verbrennungslufteingänge für unterschiedlich temperierte Verbrennungsluft ausgebildet, kann eine leichte Temperierung der Flamme in der Vorbrennkammer ermöglicht werden, wodurch die Verbrennung einfacher kontrolliert werden kann.

[41] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass nicht immer dieselben Verbrennungslufteingänge zur Vorbrennkammer benutzt werden müssen. Vielmehr können vorteilhafter Weise auch Verbrennungslufteingänge verwendet werden, die beispielsweise in das Mischrohr führen.

[42] Verfügt der Axialkolbenmotor über wenigstens einem Wärmeübertrager, ist es vorteilhaft, wenn ein erster Verbrennungslufteingang von Verbrennungsluft vor einem Wärmeübertrager und ein zweiter Verbrennungslufteingang von Verbrennungsluft hinter diesem oder einem anderen Wärmeübertrager gespeist wird. Hierdurch gelingt es auf baulich besonders einfache Weise unterschiedlich temperierte Verbrennungsluft bereitzustellen. Speziell hierbei kann eine Regelung der Verbrennungsluftzugänge auch anhand des Wirkungsgrads erfolgen.

[43] Auch kann insbesondere bei der Verwendung von Verbrennungsluft, die hinter einem Wärmeübertrager abgegriffen wird, sichergestellt werden, dass die Verbrennungsluft nicht zu kalt in den Vorbrenner bzw. in die Brennkammer eines Axialkolbenmotors gelangt. Dieses hat insbesondere den Vorteil, dass aufbereiteter bzw. vortemperierter oder verdampfter Kraftstoff nicht unnötiger Weise durch die Verbrennungsluft, mit welcher der Kraftstoff in Kontakt gebracht wird, abgeschreckt und so die Aufbereitung in ihrer Wirkung gedämpft wird. Hierbei versteht es sich, dass statt einer Temperierung der Verbrennungsluft durch Wärmeübertrager auch eine Temperierung durch eine separate Heizung, beispielsweise in Form einer Glühkerze, einer Glühwendel, einer Induktionsheizung oder einer Laserheizung, vorgesehen kann. Die Temperierung durch eine separate Heizung hat den Vorteil, dass die entsprechende Temperatur unmittelbar zur Verfügung steht und dass eine derartige Heizung in der Regel mit einem geringeren Strömungswiderstand für die Verbrennungsluft ausgebildet werden kann, als dieses bei einem Wärmeübertrager der Fall ist. Im Übrigen versteht es sich, dass ein Wärmeübertrager zur Anwendung kommen kann, wenn dieser mit einem geringen Strömungswiderstand ausgestattet werden kann. Hierdurch ist gewährleistet, dass der Vorbrenner mit einem ausreichend hohen Druck arbeitet, so dass betriebssicher ein ausreichender Volumenstrom durch den Vorbrenner hindurch in den Hauptbrenner aufrechterhalten bleibt. Letzteres gilt insbesondere dann, wenn über Wärmeübertrager aufbereitete Verbrennungsluft dem Hauptbrenner zugeführt wird, die

mithin den Druck in der Hauptbrennkammer definiert, da dann die Verbrennungsluft, welche durch den Vorbrenner in die Hauptbrennkammer gelangt einen höheren Druck aufweist.

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

[45] Die Verspiegelung einer metallenen Oberfläche bringt darüber hinaus den Vorteil, dass
10 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, wes-
15 wegen durch eine Verringerung des Wandwärmestromes eine effiziente Möglichkeit gegeben ist, den thermodynamischen Wirkungsgrad des Axialkolbenmotor durch die vorgeschlagenen Lösungen der Erfindung zu steigern.

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

[47] Weiterhin versteht es sich, dass jede andere Oberflächenbeschichtung, welche in der
25 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 durch verminderte Wärmeleitung verringert, um den Anteil an thermodynamischen Verlusten durch Konvektion zu verringern.

[48] 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 gewähr-
5 leistet werden, dass möglichst viel Wärmeenergie in dem Axialkolbenmotor verbleibt und über die Wärmeübertragung an das Brennmittel wieder genutzt wird.

[49] 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. Insbeson-
10 dere jedoch nach außen hin sollte die Wärmeübertragerisolation vorgesehen sein.

[50] 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
15 wesentlich kleiner werden. Kumulativ bzw. alternativ hierzu kann die Wärmeübertragerisolation 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. Temperatur-
20 gradienten überproportional ansteigen. Darüber hinaus tritt die Maximaltemperatur bzw. der maximale Temperaturgradient nur an einer kleinen Stelle auf, da im Übrigen die Temperatur des Wärmeübertragers zur Verdichterseite immer mehr abnimmt.

[51] Vorzugsweise umfasst die Wärmeübertragerisolation zumindest eine Komponente aus einem von dem Wärmeübertrager abweichenden Material. Dieses Material kann dann auf seine
25 Aufgabe als Isolation optimal ausgelegt sein und beispielsweise Asbest, Asbestersatz, Wasser, Abgas 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
30 wie das Mantelmaterial des Wärmeübertragers gebildet sein.

[52] Die Aufgabe der Erfindung wird auch von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, und der einen Abgasauslass aufweist, wobei sich der Axialkolbenmotor durch einen Vorbrennkammertemperatursensor zur Bestimmung der Temperatur in der Vorbrennkammer auszeichnet.

[53] Ein derartiger Temperatursensor liefert auf einfache Weise einen aussagekräftigen Wert hinsichtlich der Qualität der Verbrennung bzw. hinsichtlich der Laufstabilität des Axialkolbenmotors. Als Temperatursensor kann jeder Sensor, beispielsweise ein Widerstandstemperaturfühler, ein Thermoelement, ein Infrarotsensor oder ähnliches zur Anwendung kommen.

[54] Vorzugsweise ist der Vorbrennkammertemperatursensor derart ausgelegt bzw. angeordnet, dass er die Temperatur einer Flamme in der Vorbrennkammer bestimmt. Dieses ermöglicht ganz besonders entsprechend aussagekräftige Werte.

[55] Der Axialkolbenmotor kann insbesondere eine Brennkammerregelung umfassen, welche den Vorbrennkammertemperatursensor als Eingangssensor umfasst und die Brennkammer derart regelt, dass die Vorkammertemperatur zwischen 1.000 °C und 1.500 °C liegt. Auf diese Weise kann über einen verhältnismäßig einfachen und mithin betriebssicheren und sehr schnellen Regelkreis gewährleistet werden, dass der Axialkolbenmotor äußerst wenig Schadstoffe produziert. Insbesondere die Gefahr, dass Ruß entsteht, lässt sich auf ein Minimum reduzieren. Die Vorkammertemperatur kann besonders schnell und damit vorteilhaft geregelt werden, wenn zwei oder auch mehr Verbrennungsluftzufuhren, insbesondere mit unterschiedlich temperierter Verbrennungsluft, genutzt werden.

[56] Darüber hinaus kann der Axialkolbenmotor kumulativ bzw. alternativ hierzu einen Abgastemperatursensor zur Bestimmung der Abgastemperatur umfassen.

[57] Durch einen derartigen Abgastemperatursensor kann ebenfalls auf technisch einfache Weise der Betriebszustand einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer überprüft und geregelt werden. Eine derartige Regelung stellt insbesondere auf einfache Weise eine ausreichende und vollständige Verbrennung von Kraftstoff sicher, so dass der Axialkolbenmotor einen optimalen Wirkungsgrad bei minimalem Schadstoffausstoß aufweist.

[58] Bevorzugt wird die Brennkammer derart geregelt, dass die Abgastemperatur in einem Betriebszustand, vorzugsweise im Leerlauf, zwischen 850 °C und 1.200 °C liegt. Letzteres kann beispielsweise durch die geeignete Aufgabe von Wasser und/oder ein geeignetes Vorwärmen des Brennmittels, insbesondere von Luft, geschehen, indem beispielsweise die Wassertemperatur oder Wassermenge oder aber der Anteil an in einem Wärmeübertrager vorgewärmter bzw. an nicht vorgewärmter Luft entsprechend des vorgenannten Erfordernisses gesteuert wird. Ein solcher Betriebszustand ist vorteilhafter Weise insbesondere ein Leerlauf des Axialkolbenmotors, wodurch eine weitere Schadstoffreduzierung erreicht werden kann.

[59] Eine derartige Regelung anhand einer Wasserkühlung ist aus dem eingangs relevanten Stand der Technik ebenfalls nicht bekannt.

[60] Insofern wird die Aufgabe der Erfindung des Weiteren von einem Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder gelöst, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, wobei sich der Axialkolbenmotor durch eine Brennkammerregelung auszeichnet, die eine Wasseraufgabe in die Brennkammer umfasst.

[61] Eine erweiterte Regelungsmöglichkeit kann erreicht werden, wenn die Wasseraufgabe unabhängig von einer Wasseraufgabe in oder vor einem Brennmittelverdichter vorgesehen ist, wobei insbesondere zur Kühlung Wasser direkt in die Brennkammer, beispielsweise unmittelbar in eine Vorbrennkammer aber auch unmittelbar in eine Hauptbrennkammer, aufgegeben werden kann.

[62] Wird die Wasseraufgabe zur Regelung einer Abgastemperatur genutzt, kann insbesondere der Wärmeübergang an einem Wärmeübertrager auf die Verbrennungsluft dementsprechend vorteilhaft geregelt werden. Dieses ermöglicht eine Optimierung des Wirkungsgrads, da die Abgastemperatur derart geregelt werden kann, dass möglichst sämtliche Wärmeenergie des Abgases in dem Wärmeübertrager wiedergewonnen wird.

[63] Der Wasseranteil kann ergänzend – je nach konkreter Umsetzung – zur Temperaturregelung in der Brennkammer und/oder auch zur Schadstoffreduktion über chemische oder katalytische Reaktionen des Wassers genutzt werden.

[64] 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 vorgeschlagen, wobei der wärmeaufnehmende Teil 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 sich der Axialkolbenmotor dadurch auszeichnet, dass der wärmeaufnehmende und/oder der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers stromabwärts und/oder stromaufwärts Mittel zur Aufgabe wenigstens eines Fluides aufweist.

10 [65] Die Aufgabe eines Fluides in den Brennmittelstrom kann zu einer Erhöhung der Übertragungsleistung des Wärmeübertragers beitragen, indem beispielsweise durch die Aufgabe 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 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
15
20 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.

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

[67] In Analogie hierzu wird mit „stromaufwärts“ diejenige Seite des Wärmeübertrager bezeichnet, in welche das jeweilige Fluid eintritt, bzw. derjenigen Teil des Abgasstranges oder der

Brennmittel führenden Verrohrung bezeichnet, aus welcher das Fluid in den Wärmeträger eintritt.

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

[69] Als Fluid kann beispielsweise Wasser und/oder Brennstoff entsprechend aufgegeben werden. Dies hat den Vorteil, dass der Brennstoffstrom einerseits die zuvor beschriebenen Vorteile einer erhöhten spezifischen Wärmekapazität durch die Aufgabe von Wasser und/oder Brennstoff aufweist und andererseits die Gemischaufbereitung bereits im Wärmeträger
10 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.

[70] Für eine weitere Ausgestaltung eines Axialkolbenmotors wird vorgeschlagen, dass im
15 wärmeabgebenden Teil des Wärmeträgers oder stromabwärts des wärmeabgebenden Teils des Wärmeträgers ein Wasserabscheider angeordnet ist. Durch die am Wärmeträger bestehende Temperatursenke könnte dampfförmiges Wasser auskondensieren und den nachfolgenden Abgasstrang durch Korrosion schädigen. Eine Schädigung des Abgasstranges kann durch diese Maßnahme vorteilhaft vermindert werden.

[71] 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 Wärmeträger vorgeschlagen, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeträgers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer
20 angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeträgers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist und wobei das Verfahren sich dadurch auszeichnet, dass dem durch den Wärmeträger strömende Brennstoffstrom und/oder dem durch den Wärmeträger strömende Abgasstrom wenigstens ein Fluid aufgegeben wird. Hierdurch kann - wie bereits vorstehend dargestellt - die wirkungsgradsteigernde Wärmeüber-

tragung 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.

[72] Vorteilhaft wird der Axialkolbenmotor derart betrieben, dass Wasser und/oder Brennstoff, wie bereits erläutert, 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.

[73] Ebenso kann dem Abgasstrom, falls dies beispielsweise 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.

[74] Um diesen Vorteil weiterhin umzusetzen, wird ferner vorgeschlagen, dass das Fluid stromabwärts und/oder stromaufwärts des Wärmeübertragers aufgegeben wird.

[75] 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.

[76] 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 Ab-

gasstrang möglicherweise schädliche Wasser, welches sich in dem Abgasstrang absetzen kann, insbesondere wenn dieser erkaltet, kann durch dieses Verfahren vermieden werden. Vorteilhaft wird auch jegliches Wasser aus dem Axialkolbenmotor selbst vor dem Stillstand des Axialkolbenmotors entfernt, so dass keine Schädigung von Bauteilen des Axialkolbenmotors durch Wasser oder Wasserdampf, insbesondere während des Stillstandes, begünstigt wird.

[77] 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.

[78] 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 Brennstoff oder Abgas zu begegnen, kann bei geeigneter Ausgestaltung ein Wärmeübertrager nach 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.

[79] Es versteht sich, dass ein verwendetes Lot oder andere zur Befestigung oder Montage des Wärmeübertragers verwendete Mittel aus einem anderen Werkstoff bestehen können, insbe-

sondere dann, wenn es sich nicht um Bereiche mit einer hohen thermischen Beanspruchung oder mit einer hohen Anforderung an Dichtigkeit handelt.

[80] 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.

[81] 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 wiederum einen dem Rohr oder der Matrize entsprechenden Werkstoff zu verwenden.

[82] Die Aufgabe der Erfindung wird 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, welcher sich durch einen Brennmittelspeicher auszeichnet, in welchem verdichtetes Medium zwischengespeichert werden kann.

[83] Durch einen derartigen Brennmittelspeicher kann insbesondere kurzzeitig eine erhöhte Leistung abgefragt werden, ohne dass zunächst über die Verdichter entsprechend mehr Brennmittel bereitgestellt werden muss. Dieses ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Verdichterkolben des Verdichters unmittelbar mit Arbeitskolben verbunden sind, da dann ein Mehr an Brennmittel lediglich durch eine erhöhte Arbeitsleistung, die letztlich ansonsten nur durch ein Mehr an Kraftstoff erzielt werden kann, bereitgestellt werden kann. Insoweit kann hierdurch bereits Kraftstoff gespart werden.

[84] Auch kann das in dem Brennmittelspeicher gespeicherte Brennmittel beispielsweise für Startvorgänge des Axialkolbenmotors genutzt werden.

[85] Vorzugsweise ist der Brennmittelspeicher zwischen dem Verdichterzylinder und einem Wärmeübertrager vorgesehen, so dass das Brennmittel, insbesondere zur Verbrennung vorgese-

hene Luft, noch kalt bzw. noch ohne dem Wärmeträger Energie entzogen zu haben in dem Brennmittelspeicher zwischengespeichert wird. Wie unmittelbar ersichtlich, wirkt sich dieses positiv auf die Energiebilanz des Axialkolbenmotors aus.

[86] Insbesondere für längere Standzeiten ist es von Vorteil, wenn zwischen dem
5 Verdichterzylinder und dem Brennmittelspeicher und/ oder zwischen dem Brennmittelspeicher
und dem Arbeitszylinder ein Ventil angeordnet ist. Auf diese Weise kann die Gefahr einer Le-
ckage minimiert werden. Insbesondere ist es von Vorteil, wenn der Brennmittelspeicher über ein
Ventil von der Druckleitung bzw. von den während eines normalen Betriebs Brennmittel füh-
renden Baugruppen mittels eines Ventils getrennt werden kann. Auf diese Weise kann das
10 Brennmittel in dem Brennmittelspeicher unbeeinflusst von den übrigen Betriebszuständen des
Axialkolbenmotors gespeichert werden.

[87] Darüber hinaus ist es auch unabhängig von den übrigen Merkmalen vorliegender Erfin-
dung von Vorteil, wenn die Druckleitung zwischen Verdichterzylinder und Arbeitszylinder ein
Ventil aufweist, so dass die Brennmittelzufuhr vom Brennmittelspeicher insbesondere in Situa-
15 tionen, in denen kein Brennmittel benötigt wird, wie dieses beispielsweise bei Stillstand an einer
Ampel oder bei Bremsvorgängen der Fall ist, betriebssicher unterbunden werden kann, auch
wenn verdichterseitig wegen einer Bewegung des Axialkolbenmotors noch verdichtetes Brenn-
mittel bereit gestellt wird. Insbesondere kann dann eine entsprechende Unterbrechung vorge-
nommen werden und das verdichterseitig bereitgestellte Brennmittel unmittelbar direkt in den
20 Brennmittelspeicher gelangen, um dann beispielsweise für Anfahr- und Beschleunigungsprozes-
se sofort und unverzüglich zur Verfügung zu stehen.

[88] Hierbei versteht es sich, dass – je nach konkreter Ausführungsform des Axialkolbenmo-
tors – auch mehrere Druckleitungen vorgesehen sein können, die einzeln oder zusammen ent-
sprechend abgesperrt bzw. mit einem Brennmittelspeicher verbunden werden können.

25 [89] Eine sehr vorteilhafte Ausführungsvariante sieht mindestens zwei solcher Brennmittel-
speicher vor, wodurch unterschiedliche Betriebszustände des Axialkolbenmotors noch differen-
zierter geregelt werden können.

[90] Werden die mindestens zwei Brennmittelspeicher mit unterschiedlichen Drücken bela-
den, kann besonders schnell auf Betriebszustände innerhalb der Brennkammer Einfluss genom-

men werden, ohne dass beispielsweise Verzögerungen durch ein Eigenansprechverhalten von Regelventilen zu berücksichtigen sind. Insbesondere ist es möglich, dass die Aufladezeiten für die Speicher minimiert werden und insbesondere auch bei niedrigen Drücken bereits Brennstoff gespeichert werden kann, während gleichzeitig noch ein Speicher, der Brennstoff unter hohem Druck enthält, vorhanden ist.

[91] Besonders vielfältige und ineinander greifende Regelungsmöglichkeiten können dementsprechend erreicht werden, wenn eine Druckregelung vorliegt, die für den ersten Brennstoffspeicher eine erste Druckuntergrenze und eine erste Druckobergrenze und für den zweiten Brennstoffspeicher eine zweite Druckuntergrenze und eine zweite Druckobergrenze festlegt, innerhalb derer ein Brennstoffspeicher mit Drücken beladen wird, wobei vorzugsweise die erste Druckobergrenze unter der zweiten Druckobergrenze und die erste Druckuntergrenze unter der zweiten Druckuntergrenze liegt. Insbesondere können die verwendeten Brennstoffspeicher in unterschiedlichen Druckintervallen betrieben werden, wodurch die von dem Axialkolbenmotor in Form von Brennstoffdruck bereitgestellte Energie noch effektiver genutzt werden kann.

[92] Um etwa ein besonders schnelles Ansprechverhalten, insbesondere hinsichtlich eines sehr weiten Arbeitsspektrums, an dem Axialkolbenmotor realisieren zu können, ist es vorteilhaft, wenn die erste Druckobergrenze kleiner oder gleich der zweiten Druckuntergrenze ist. Durch derart gewählte Druckintervalle kann vorteilhafter Weise ein besonders weitgreifender Druckbereich bereitgestellt werden.

[93] Wie bereits vorstehend im Detail erläutert, kann dem Axialkolbenmotor Wasser aufgegeben werden. Dieses birgt jedoch das Risiko, dass – insbesondere in Bereichen, in denen bereits Verbrennungsprodukte vorliegen – korrosive Prozesse gefördert werden. Um letzteres zu vermeiden, wird unabhängig von den übrigen Merkmalen vorliegender Erfindung ein Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterzylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennstoff von dem Verdichterzylinder zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, vorgeschlagen, wobei dem Axialkolbenmotor an irgendeiner Stelle Wasser als Brennstoff, also als ein die Brennkammer durchlaufendes Material, aufgegeben wird und welcher sich dadurch auszeichnet, dass vor einem Betriebsende des Axialkolbenmotors die Wasseraufgabe gestoppt und der Axialkolbenmotor eine definierte Zeitspanne ohne Wasseraufgabe betrieben wird.

[94] Es versteht sich, dass die Zeitspanne möglichst kurz gewählt wird, da ein Nutzer nicht unnötig warten möchte, bis der Motor aufhört zu laufen, und da während dieser Zeit der Motor eigentlich nicht mehr benötigt wird. Andererseits wird die Zeitspanne ausreichend lang gewählt, dass Wasser, insbesondere aus den heißen bzw. mit Verbrennungsprodukten in Kontakt stehenden Bereichen ausreichend entfernt werden kann. Während dieser Zeitspanne können beispielsweise Brennmittelspeicher aufgeladen werden. Auch können während dieser Zeit andere Stilllegungsvorgänge bei einem Kraftfahrzeug, wie beispielsweise das betriebssichere Schließen aller Fenster, durchgeführt werden, wobei hierzu noch die von dem Motor bereitgestellte Energie genutzt werden kann, was letztlich eine Batterie entlastet.

10 [95] Hierbei kann die Wasseraufgabe einerseits unmittelbar in die Brennkammer erfolgen. Andererseits kann das Wasser zuvor mit Brennmittel vermischt werden, was beispielsweise bei oder vor der Verdichtung erfolgen kann. Auch an anderer Stelle kann eine Vermischung mit Verbrennungsluft oder aber mit Brennstoff oder sonstigen Brennmitteln erfolgen.

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

[97] Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Schnittdarstellung einer Kraftstoffheizung eines Axialkolbenmotors für dessen Vorbrenner;
- 20 Figur 2 eine schematische Schnittdarstellung eines Rückschlagventils vor einer Vorbrennkammer eines Axialkolbenmotors;
- Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung eines Axialkolbenmotors mit zwei Wärmeübertragern, an welchem die Baugruppen aus den Figuren 1 und 2 vorteilhaft eingesetzt werden können;
- 25 Figur 4 eine schematische Schnittdarstellung eines Axialkolbenmotors mit zwei Wärmeübertragern und mit einem Brennmittelspeicher, an welchem die Baugruppen aus den Figuren 1 und 2 vorteilhaft eingesetzt werden können;
- Figur 5 eine schematische Ansicht eines weiteren Axialkolbenmotors, an welchem die Baugruppen aus den Figuren 1 und 2 ebenfalls vorteilhaft eingesetzt werden
- 30 können; und

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Flansches für einen Wärmeübertrager mit einer hierin angeordneten Matrize zur Aufnahme für Rohre eines Wärmeträgers.

[98] Die in der Figur 1 gezeigte Kraftstoffaufbereitung 980 ist einer Vorbrennkammer 927 eines Axialkolbenmotors 901 vorgeschaltet und umfasst eine Kraftstoffheizung 981 in Gestalt einer Glühkerze 982. Die Glühkerze 982 korrespondiert hierbei mit einem Mischrohr 983 zum Mischen von Kraftstoff 928 und Verbrennungsluft 929. Die Verbrennungsluft 929 wird dem Mischrohr 983 mittels einer hierzu axial fluchtenden Verbrennungsluftzufuhr 984 zugeführt. Zum Zuführen des Kraftstoffs 928 umfasst die Kraftstoffaufbereitung 980 ein Kraftstoffeinspritzsystem 985 mit einer Aufbereitungsdüse 912, die radial zu dem Mischrohr 983 platziert ist. Derart angeordnet kann die Aufbereitungsdüse 912 den Kraftstoff 928 in einen Verdampfer 986 aufgeben, wobei der Kraftstoff 928 mittels der Glühkerze 982 besonders effektiv verdampft werden kann, bevor er dem Mischrohr 983 zugeführt wird.

[99] Derart vermischte Brennmittel – Kraftstoff 928 und Verbrennungsluft 929 – können dann der Vorbrennkammer 927 aufgeben werden, um dort beispielsweise durch Selbstzündung vollständig zu verbrennen. Insbesondere in einer Startphase des Axialkolbenmotors 901, speziell wenn der Axialkolbenmotor 901 noch kalt und weit entfernt von seiner Betriebstemperatur ist, kann das Zünden der Brennmittel erleichtert werden, indem eine Zündkerze 987 die Brennmittel zündet. Hierzu ragt die Zündkerze 987 eingangsseitig in die Vorbrennkammer 927 hinein. Eine solche Zündkerze 987 kann alternativ auch einem Mischrohr 983 zugeordnet sein und dementsprechend in das Mischrohr 983 hinein ragen.

[100] Im Bereich des Kraftstoffeinspritzsystems 985 ist noch eine Kühlung 988 vorgesehen, mittels welcher ein Überhitzen des Kraftstoffeinspritzsystems 985 wirkungsvoll unterbunden werden kann.

[101] Gemäß der schematischen Schnittdarstellung der Figur 2 ist bei dem zweiten Ausführungsbeispiel ein Rückschlagventil 1095 vor einer Vorbrennkammer 1027 eines Axialkolbenmotors 1001 vorgesehen, wobei das Rückschlagventil 1095 in an sich bekannter Weise einen Ventilsitz 1096 und eine hierzu korrespondierende Keramikventilkugel 1097 umfasst. Im Übrigen entspricht die Kraftstoffaufbereitung 1080 der Kraftstoffaufbereitung 980.

[102] Das Rückschlagventil 1095 ist in diesem Ausführungsbeispiel zwischen einem Mischrohr 1083 einer Kraftstoffaufbereitung 1080 und einer hierzu axial fluchtenden Verbrennungsluftzufuhr 1084 angeordnet.

5 [103] Die Kraftstoffaufbereitung 1080 umfasst eine Kraftstoffheizung 1081 in Gestalt einer Glühkerze 1082 und einer Aufbereitungsdüse 1012 mit einem Verdampfer 1086. Mittels der Glühkerze 1082 kann ein von der Aufbereitungsdüse 1012 eingespritzter Kraftstoff im Verdampfer 1086 verdampft werden, bevor er gasförmig dem Mischrohr 1083 zugeführt wird.

10 [104] Insbesondere bei Startvorgängen des Axialkolbenmotors 1001 kann das Rückschlagventil 1095 dazu beitragen, eine Verbrennung von Brennmitteln innerhalb der Vorbrennkammer 1027 zu vergleichmäßigen, wobei ein Zünden der in der Vorbrennkammer 1027 aufgegebenen Brennmittel durch eine zusätzliche Zündkerze 1087 noch verbessert bzw. unterstützt werden kann.

15 [105] Sowohl die in der Figur 1 beispielhaft beschriebene Kraftstoffaufbereitung 980 als auch das beispielhaft in der Figur 2 beschriebene Rückschlagventil 1095 können an nahezu beliebig ausgestalteten Axialkolbenmotoren mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer gespeist wird, und mit einer Vorbrennkammer und einer Hauptbrennkammer ausgestattet ist, vorteilhaft eingesetzt werden, um den jeweiligen Wirkungsgrad eines diesbezüglichen Axialkolbenmotors zu verbessern. Im Nachfolgenden sind beispielhaft lediglich drei Axialkolbenmotoren 201, 401 und 501 erläutert, bei denen die Kraftstoffaufbereitung 980 bzw. das Rückschlagventil 1085 vorteilhaft zum Einsatz kommen können.

[106] Hierbei können insbesondere die Mischrohre 983, 1083 auch exzentrisch in die Vorbrennkammern 927, 1027 münden. Ebenso können die Zündkerzen 987, 1087 in dem Mischrohr 983, 1083 oder an anderer geeigneter Stelle vorgesehen sein.

25 [107] Der beispielhaft in der Figur 3 dargestellte Axialkolbenmotor 201 weist eine kontinuierlich arbeitende Brennkammer 210 auf, aus welcher sukzessive Arbeitsmedium über Schusskanäle 215 (exemplarisch beziffert) Arbeitszylindern 220 (exemplarisch beziffert) zugeführt wird. 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 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.

5 [108] 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.

10 [109] 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.

15 [110] 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. Hier-
20 zu finden an sich bekannte und ohne Weiteres entsprechend einsetzbare Ventilsysteme Anwendung.

25 [111] Der Axialkolbenmotor 201 weist 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 können.

Hierbei wird davon ausgegangen, dass durch eine optimierte Auslegung sogar Einsparungen bis zu 30 % oder darüber möglich sind.

[112] 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.

[113] Besonders bevorzugt erfolgt die 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.

[114] Vorzugsweise wird der Kraftstoff wie vorstehend beschrieben aufbereitet. Je nach konkretem Ausführungsbeispiel kann jedoch hierauf verzichtet werden.

[115] 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.

[116] Auch der in Figur 4 nur beispielhaft dargestellte Axialkolbenmotor 401 entspricht im Wesentlichen dem Axialkolbenmotor 201 nach der Figur 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 Detailerläuterung der Wirkungsweise verzichtet, da dieses bereits im Bezug auf den Axialkolbenmotor 201 nach der Figur 3 geschehen ist.

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

[118] 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 der Figuren 3 angeordnet sind. Das Arbeitsmedium verlässt die Wärmeübertrager 470 durch Auslässe 427 (exemplarisch beziffert).

[119] 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. Die Pleuelstange 435 umfasst in an sich bekannter Weise eine Kur-

venbahn 440, welche auf einem Abstandhalter 424 vorgesehen ist, welcher letztlich eine Abtriebswelle 441 antreibt.

[120] 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.

[121] 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.

[122] 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 Schubbetrieb 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.

[123] 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.

[124] 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.

[125] In einer dem Axialkolbenmotor 401 alternativen Ausführungsform kann auf den Ringkanal 456 verzichtet werden, wobei dann – ggf. über ein Ringkanalteilstück – 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 Druckleitungen 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-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.

[126] Es versteht sich, dass der Axialkolbenmotor 401 in einer anderen hier nicht explizit gezeigten Ausführungsvarianten 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 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 eingestellt werden.

[127] In den Figuren 3 und 4 nicht explizit 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 Hauptbrennkammer umfasst, kann über derartige Temperatursensoren auch die Temperatur der Vorbrennkammer gemessen werden. Insoweit können die vorstehend beschriebenen Axialkolbenmotoren 201 und 401 jeweils über die Temperatursensoren derart geregelt werden, dass die
5 Abgastemperatur bei Verlassen der Arbeitszylinder 220 und 420 ungefähr 900 °C und – falls vorhanden – die Temperatur in der Vorbrennkammer ungefähr 1.000 °C beträgt.

[128] Bei dem gemäß der Darstellung nach der Figur 5 beispielhaft gezeigten weiteren Axialkolbenmotor 501 sind derartige Temperatursensoren in Gestalt eines Vorkammertemperatursensors 592 und zweier Abgastemperatursensoren 593 vorhanden und entsprechend schematisch
10 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 Vor-
15 brenner 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
20 gewährleistet ist.

[129] 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
25 sind.

[130] 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
30 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. Vorzugsweise ist der Druck, mit welchem die Verbrennungsluft dem Vorbrenner 517 aufgegeben wird, höher als der Druck, mit welchem Verbrennungsluft dem Hauptbrenner 518 aufgegeben wird. Dieses kann insbesondere einfach dadurch erreicht werden, dass für die entsprechenden Zufuhrleitungen Leitungssysteme mit entsprechend unterschiedlichen Strömungswiderständen genutzt werden. Insbesondere kann beispielsweise für die dem Vorbrenner 517 aufzugebene Verbrennungsluft ein kürzerer oder gar kein Wärmeübertrager genutzt werden, während die dem Hauptbrenner 518 aufzugebene Verbrennungsluft über die in der Zeichnung dargestellten Wärmeübertrager geführt wird.

[131] 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.

[132] 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 über einen Löcherkranz 523 mit Verbrennungsluft vermischt werden.

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

[134] 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.

Auf diese Weise kann der Kraftstoff aus der Hauptdüse 511 durch den Vorbrenner 517 aufbereitet und insbesondere thermisch zerlegt werden, bevor er in den Brennraum 526 gelangt.

[135] In den Hauptbrenner 518 wird bei diesem Ausführungsbeispiel ohne weitere Luftzufuhr Brennstoff bzw. Kraftstoff aus der Hauptdüse 511 eingespritzt und, wie bereits vorstehend erläutert, durch den Vorbrenner 517 thermisch zerlegt. Hierzu 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.

[136] Die separate Verbrennungsluftzufuhr 504 ist hierzu an eine Prozessluftzufuhr 521, die über die hier nicht gezeigten Wärmeübertrager geführt wird, angeschlossen, wobei eine weitere Verbrennungsluftzufuhr 522 unmittelbar aus dem Verdichter bzw. Verdichterkolben 550 mit Verbrennungsluft versorgt werden kann, welche hierbei einen Löcherkranz 523 mit Verbrennungsluft versorgen. 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.

[137] Des Weiteren umfasst die Brennkammer 510, insbesondere der Brennraum 526, eine keramische Baugruppe 506, welche vorteilhafter Weise luftgekühlt 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 Kühlluftkammer 509, die über eine Kühlluftkammerzufuhr 524 mit der Prozessluftzufuhr 521 verbunden ist.

[138] Die an sich bekannten Arbeitszylinder 520 führen entsprechende Arbeitskolben 530, die jeweils mittels Pleuelstangen 535 mit Verdichterkolben 550 mechanisch verbunden sind.

[139] 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

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

[140] 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.

[141] Hierdurch können gegebenenfalls Abgase in einem oder mehreren hier nicht dargestellten Wärmeübertragern (siehe aber Figur 4) 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 zumindest in dem vorstehend erläuternden Ausführungsbeispiel der Figur 4 bereits ausführlich beschrieben ist. 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.

[142] 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.

[143] Jeder der Arbeitszylinder 520 des Axialkolbenmotors 501 ist über einen Schusskanal 515 mit der Brennkammer 510 verbunden, sodass ein gezündetes Kraftstoff-Luft-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.

[144] 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 Steuer-

kolben 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 des Schusskanals 515 geschieht hierbei über den Steuerkolben 531 auch mit seinem Steuerkolbendeckel 532. Angetrieben wird der Steuerkolben 531 mittels 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.

[145] 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.

[146] 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 verzichtet werden kann.

[147] 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 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.

[148] 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 6 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. 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. 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
5 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.

[149] In der Zeichnung nicht dargestellt ist eine Wärmeisolation der Wärmeübertrager 270,
10 470 bzw. der nicht dargestellten Wärmeübertrager des Axialkolbenmotors 501. Hierzu wird ein Asbestersatz in geeigneter Weise um die jeweiligen Wärmeübertrager gelegt, der anschließend durch ein Gehäuse gesichert wird. Hierdurch ist gewährleistet, dass bei diesen Ausführungsbeispielen die Außentemperatur des Axialkolbenmotors im Bereich der Wärmeübertrager bei nahezu allen Betriebszuständen 450 °C nicht übersteigt. Ausnahmen bilden nur Überlastsituationen,
15 die ohnehin nur kurzzeitig auftreten. Hierbei ist die Wärmeisolation darauf ausgelegt, an der heißesten Stelle des Wärmeübertragers einen Temperaturgradienten von 350 °C zu gewährleisten.

[150] Figur 6 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.

25 [151] 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
30 Wärmeübertragerkopfplatte 3020 oder den Rohren entsprechenden Werkstoff hergestellt wer-

den. Die Rohrsitze 3024 können beispielsweise mit einer Passung ausgeführt werden, sodass die in diesen Rohrsitzen 3024 montierten Rohre mittels einer Presspassung eingesetzt werden.

[152] Alternativ hierzu können die Rohrsitze 3024 auch derart ausgeführt werden, dass eine Spielpassung oder eine Übergangspassung realisiert wird. Somit kann auch eine Montage der
5 Rohre in den Rohrsitzen 3024 durch eine stoffschlüssige Verbindung 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
10 Wärmespannungen in den Rohrsitzen 3024 durch homogene Wärmeausdehnungskoeffizienten minimiert werden können.

[153] 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
15 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.

Bezugszeichenliste:

201	Axialkolbenmotor	455	Druckleitung
205	Gehäusekörper	456	Ringkanal
210	Brennkammer	457	Zuleitung
5 215	Schusskanal	35 460	Verdichterzylinder
220	Arbeitszylinder	470	Wärmeübertrager
225	Abgaskanal	480	Brennmittelspeicher
227	Auslass	481	Speicherleitung
230	Arbeitskolben	485	Ventil
10 235	Pleuelstange	40 501	Axialkolbenmotor
240	Kurvenbahn	502	Hauptbrennrichtung
241	Abtriebswelle	503	Symmetrieachse
242	Abstandhalter	504	Verbrennungsluftzufuhr
250	Verdichterkolben	505	Gehäusekörper
15 255	Druckleitung	45 506	keramische Baugruppe
257	Zuleitung	507	keramische Brennkammerwand
260	Verdichterzylinder	508	profiliertes Rohr
270	Wärmeübertrager	509	Kühlluftkammer
401	Axialkolbenmotor	510	Brennkammer
20 405	Gehäusekörper	50 511	Hauptdüse
410	Brennkammer	512	Aufbereitungsdüse
415	Schusskanal	513	konische Kammer
420	Arbeitszylinder	514	zylindrische Kammer
425	Abgaskanal	515	Schusskanal
25 427	Auslass	55 516	erste Strahlrichtung
430	Arbeitskolben	517	Vorbrenner
435	Pleuelstange	518	Hauptbrenner
440	Kurvenbahn	519	weitere Strahlrichtung
441	Abtriebswelle	520	Arbeitszylinder
30 442	Abstandhalter	60 521	Prozessluftzufuhr
450	Verdichterkolben	522	weitere Verbrennungsluftzufuhr

523	Löcherkranz	30	929	Verbrennungsluft	
524	Kühlluftkammerzufuhr		980	Kraftstoffaufbereitung	
525	Abgaskanal		981	Kraftstoffheizung	
526	Brennraum		982	Glühkerze	
5	530	Arbeitskolben	983	Mischrohr	
	531	Steuerkolben	35	984	fluchtende Verbrennungsluftzufuhr
	532	Steuerkolbendeckel	985	Kraftstoffeinspritzsystem	
	533	Steuerkolbenkurvenbahn	986	Verdampfer	
	534	Abstandhalter	987	Zündkerze	
10	535	Pleuelstange	988	Kühlung	
	536	Pleuellaufräder	40	1001	Axialkolbenmotor
	537	Antriebskurvenbahnträger		1012	Aufbereitungsdüse
	538	Wasserkühlung		1027	Vorbrennkammer
	539	Schusskanalring		1080	Kraftstoffaufbereitung
15	540	Kurvenbahn		1081	Kraftstoffheizung
	541	Abtriebswelle	45	1082	Glühkerzen
	543	Hubbewegung		1083	Mischrohr
	545	innere Kühlkanäle		1084	fluchtende Verbrennungsluftzufuhr
	546	mittlere Kühlkanäle		1086	Verdampfer
20	547	äußere Kühlkanäle		1087	Zündkerze
	548	Brennkammerboden	50	1095	Rückschlagventil
	550	Verdichterkolben		1096	Ventilsitz
	560	Verdichterzylinder		1097	Keramikventilkugel
	592	Vorkammertemperatursensor	3020	Wärmeübertragerkopfplatte	
25	593	Abgastemperatursensor	3021	Flansch	
	901	Axialkolbenmotor	55	3022	Montagebohrung
	912	Aufbereitungsdüse		3023	Matrize
	927	Vorbrennkammer		3024	Rohrsitz
	928	Kraftstoff			

Patentansprüche:

1. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbrennkammer ein Rückschlagventil aufweist.
5
2. Axialkolbenmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rückschlagventil in einer Brennmittelzuleitung angeordnet ist.
3. Axialkolbenmotor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Rückschlagventil in einer Kraftstoffzuleitung angeordnet ist.
- 10 4. Axialkolbenmotor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Rückschlagventil in einer Verbrennungsluftzuleitung angeordnet ist.
5. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Rückschlagventil in einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel angeordnet ist.
- 15 6. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbrennkammer eine Kraftstoffaufbereitung umfasst.
7. Axialkolbenmotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffaufbereitung eine Kraftstoffheizung, beispielsweise eine Glühkerze, eine Glühwendel, eine Induktionsheizung oder eine Laserheizung, umfasst.
- 20 8. Axialkolbenmotor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffaufbereitung vor einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel angeordnet ist.
- 25 9. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffaufbereitung den Kraftstoff vor Eintritt in die Vorbrennkammer verdampft.

10. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die der Vorbrennkammer zugeführte Verbrennungsluft durch eine Brennmittelaufbereitung temperiert wird.
- 5
11. Axialkolbenmotor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennmittelaufbereitung eine Brennmittelheizung, beispielsweise eine Glühkerze, eine Glühwendel, eine Induktionsheizung oder eine Laserheizung, umfasst.
12. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbrennkammer einen exzentrischen Brennmittelleintritt aufweist.
- 10
13. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die einen Vorbrenner und eine Hauptbrenner umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vorbrenner eine Zündkerze aufweist.
- 15
14. Axialkolbenmotor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündkerze in einem Brennraum des Vorbrenners angeordnet ist.
- 20
15. Axialkolbenmotor nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündkerze in einem Mischrohr zur Mischung von Kraftstoff und übrigen Brennmittel des Vorbrenners angeordnet ist.
- 25
16. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorbrennkammer zwei Verbrennungslufteingänge aufweist.

17. Axialkolbenmotor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Verbrennungslufteingänge für unterschiedlich temperierte Verbrennungsluft ausgebildet sind.
18. Axialkolbenmotor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Verbrennungslufteingang von Verbrennungsluft vor einem Wärmeträger und ein zweiter Verbrennungslufteingang von Verbrennungsluft hinter diesem oder einem anderen Wärmeträger gespeist wird.
19. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Verdichterszylinder, mit wenigstens einem Arbeitszylinder und mit wenigstens einer Druckleitung, durch welche verdichtetes Brennmittel von dem Verdichterszylinder über eine Brennkammer zu dem Arbeitszylinder geleitet wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brennkammer einen Brennkammerboden aus verspiegeltem Metall aufweist.
20. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird und der einen Abgasauslass aufweist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Vorbrennkammertemperatursensor zur Bestimmung der Temperatur in der Vorbrennkammer.
21. Axialkolbenmotor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorbrennkammertemperatursensor eine Flammtemperatur in der Vorbrennkammer misst.
22. Axialkolbenmotor nach Anspruch 20 oder 21, gekennzeichnet durch eine Brennkammerregelung, welche den Vorbrennkammertemperatursensor als Eingangssensor umfasst und die Brennkammer derart regelt, dass die Vorkammertemperatur zwischen 1.000 °C und 1500 °C liegt.
23. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 19 bis 22, gekennzeichnet durch einen Abgastemperatursensor zur Bestimmung der Abgastemperatur.

24. Axialkolbenmotor nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammerregelung den Abgastemperatursensor als Eingangssensor umfasst und die Brennkammer derart regelt, dass die Abgastemperatur in einem Betriebszustand zwischen 850 °C und 1.200 °C liegt.
- 5 25. Axialkolbenmotor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustand ein Leerlauf ist.
26. Axialkolbenmotor mit wenigstens einem Arbeitszylinder, der aus einer kontinuierlich arbeitenden Brennkammer, die eine Vorbrennkammer und eine Hauptbrennkammer umfasst, gespeist wird, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Brennkammerregelung, die eine Wasseraufgabe in die
10 Brennkammer umfasst.
27. Axialkolbenmotor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Wasseraufgabe unabhängig von einer Wasseraufgabe in oder vor einem Brennmittelverdichter vorgesehen ist.
- 15 28. Axialkolbenmotor nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Wasseraufgabe in die Vorbrennkammer erfolgt.
29. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Wasseraufgabe in die Hauptbrennkammer erfolgt.
30. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass
20 die Wasseraufgabe zur Regelung einer Abgastemperatur genutzt wird.
31. 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 Wärmeträger, wobei der wärmeaufnehmende Teil des Wärmeträgers zwischen der Verdichterstufe und der Brennkammer angeordnet ist und der wärmeabgebende Teil des Wärmeträgers zwischen der Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet
25 ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**

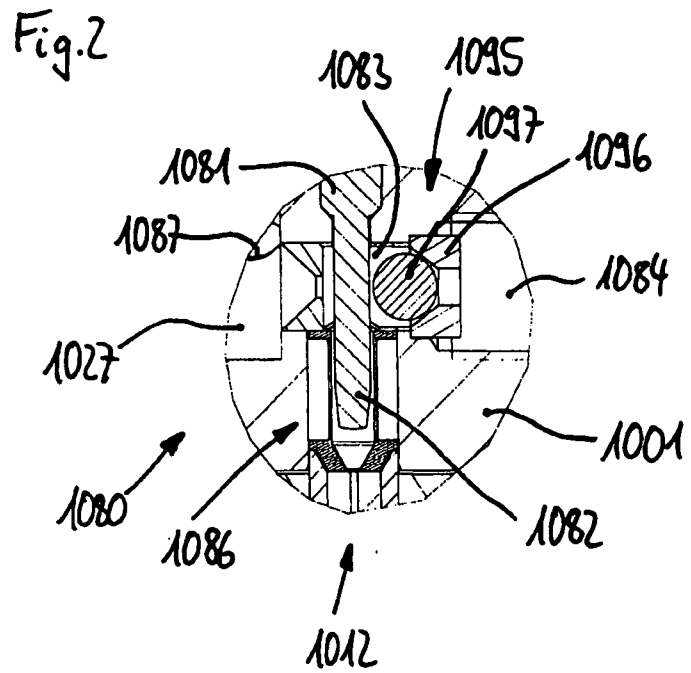
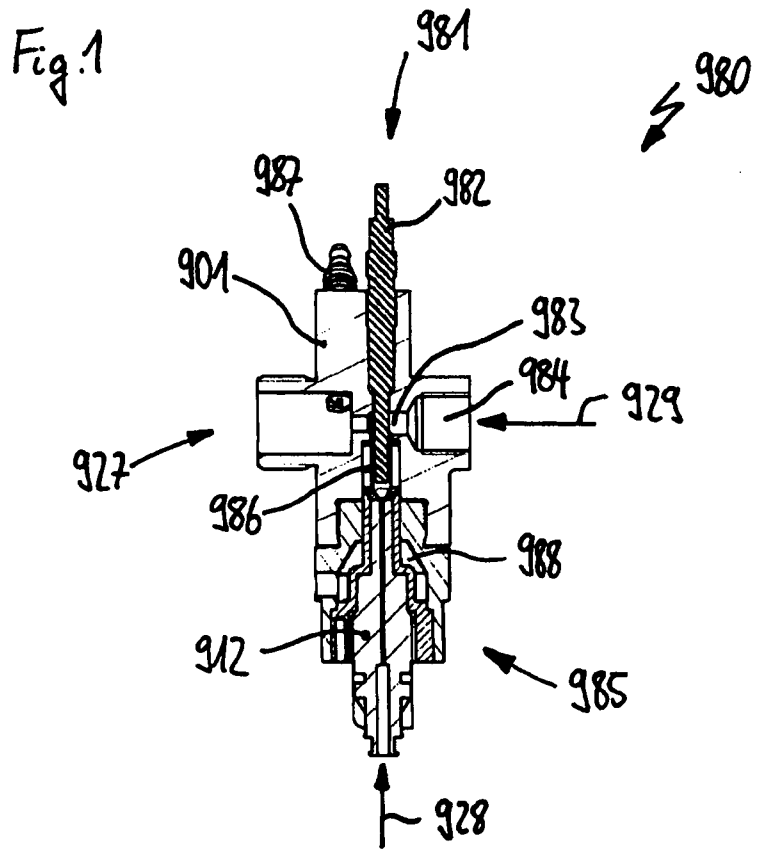
- net, dass** der wärmeaufnehmende und/oder der wärmeabgebende Teil des Wärmeübertragers stromabwärts und/oder stromaufwärts Mittel zur Aufgabe wenigstens eines Fluides aufweist.
- 5 32. Axialkolbenmotor nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid Wasser und/oder Brennstoff ist.
33. Axialkolbenmotor nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass im wärmeabgebenden Teil des Wärmeübertragers oder stromabwärts des wärmeabgebenden Teils des Wärmeübertragers ein Wasserabscheider angeordnet ist.
- 10 34. 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, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Brennmittelspeicher, in welchem verdichtetes Medium zwischengespeichert werden kann.
- 15 35. Axialkolbenmotor nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennmittelspeicher zwischen dem Verdichterzylinder und einem Wärmeübertrager vorgesehen ist.
36. Axialkolbenmotor nach Anspruch 31 oder 35, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Verdichterzylinder und dem Brennmittelspeicher ein Ventil angeordnet ist.
- 20 37. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Brennmittelspeicher und dem Arbeitszylinder ein Ventil angeordnet ist.
38. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 31 bis 37, gekennzeichnet durch mindestens zwei Brennmittelspeicher.
39. Axialkolbenmotor nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Brennmittelspeicher mit unterschiedlichen Drücken beladen werden.
- 25 40. Axialkolbenmotor nach Anspruch 39, gekennzeichnet durch eine Druckregelung, die für den ersten Brennmittelspeicher eine erste Druckuntergrenze und eine erste Druckober-

grenze und für den zweiten Brennstoffspeicher eine zweite Druckuntergrenze und eine zweite Druckobergrenze festlegt, innerhalb derer ein Brennstoffspeicher mit Drücken beladen wird, wobei die erste Druckobergrenze unter der zweiten Druckobergrenze und die erste Druckuntergrenze unter der zweiten Druckuntergrenze liegt.

- 5 41. Axialkolbenmotor nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Druckobergrenze kleiner oder gleich der zweiten Druckuntergrenze ist.
42. Axialkolbenmotor mit einer Brennstoffzufuhr und einer Abgasabfuhr, die wärmetauschend miteinander gekoppelt sind, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Wärmeübertragerisolation.
- 10 43. Axialkolbenmotor nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeübertragerisolation zwischen Wärmeübertrager und Umgebung des Axialkolbenmotors einen maximalen Temperaturgradienten von 400 °C belässt.
44. Axialkolbenmotor nach Anspruch 42 oder 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Außentemperatur des Axialkolbenmotors im Bereich der Wärmeübertragerisolation 500 °C
15 nicht übersteigt.
45. Axialkolbenmotor nach einem der Ansprüche 42 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeübertragerisolation zumindest eine Komponente aus einem von dem Wärmeübertrager abweichenden Material umfasst.
- 20 46. 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
25 Expanderstufe und einer Umgebung angeordnet ist, insbesondere auch nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem durch den Wärmeübertrager strömende Brennstoffstrom und/oder dem durch den Wärmeübertrager strömende Abgasstrom wenigstens ein Fluid aufgegeben wird.

47. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass Wasser und/oder Brennstoff aufgegeben werden.
48. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach Anspruch 46 oder 47, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid stromabwärts und/oder stromaufwärts des Wärmeübertragers aufgegeben wird.
- 5 49. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 46 bis 48, dadurch gekennzeichnet, dass abgeschiedenes Wasser dem Brennmittelstrom und/oder dem Abgasstrom erneut aufgegeben wird.
50. Verfahren zum Betrieb eines Axialkolbenmotors nach einem der Ansprüche 46 bis 49, 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.
- 10 51. 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 mit wenigstens einer den wärmeabgebenden Teil von dem wärmeaufnehmenden Teil des Wärmeübertragers abgrenzenden Wandung eines Rohres zur Trennung zweier Stoffströme, 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.
- 15 20 25 52. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, dass der Stoffschluss zwischen dem Rohr und der Matrix durch Schweißen oder Löten erfolgt.

53. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeübertragers nach den Ansprüchen 51 oder 52, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftschluss zwischen dem Rohr und der Matrix durch Schrumpfen erfolgt.



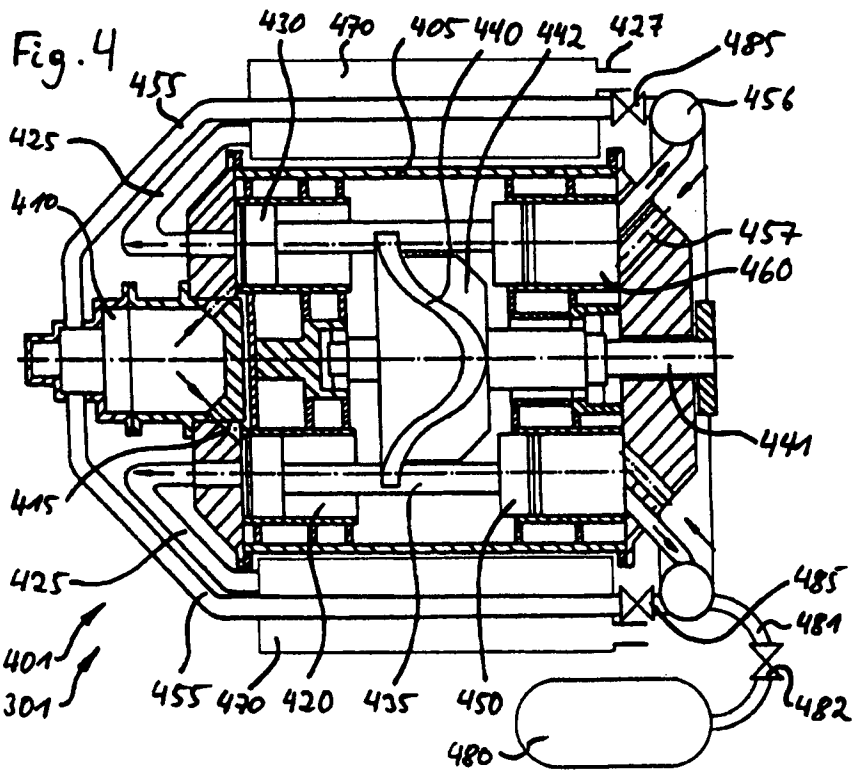
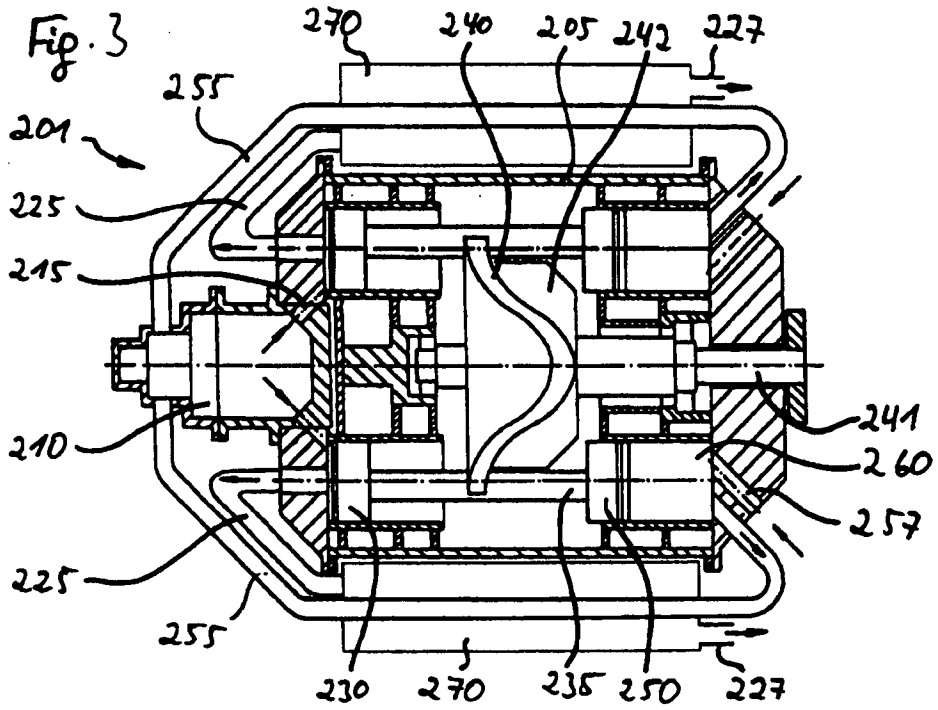


Fig. 5

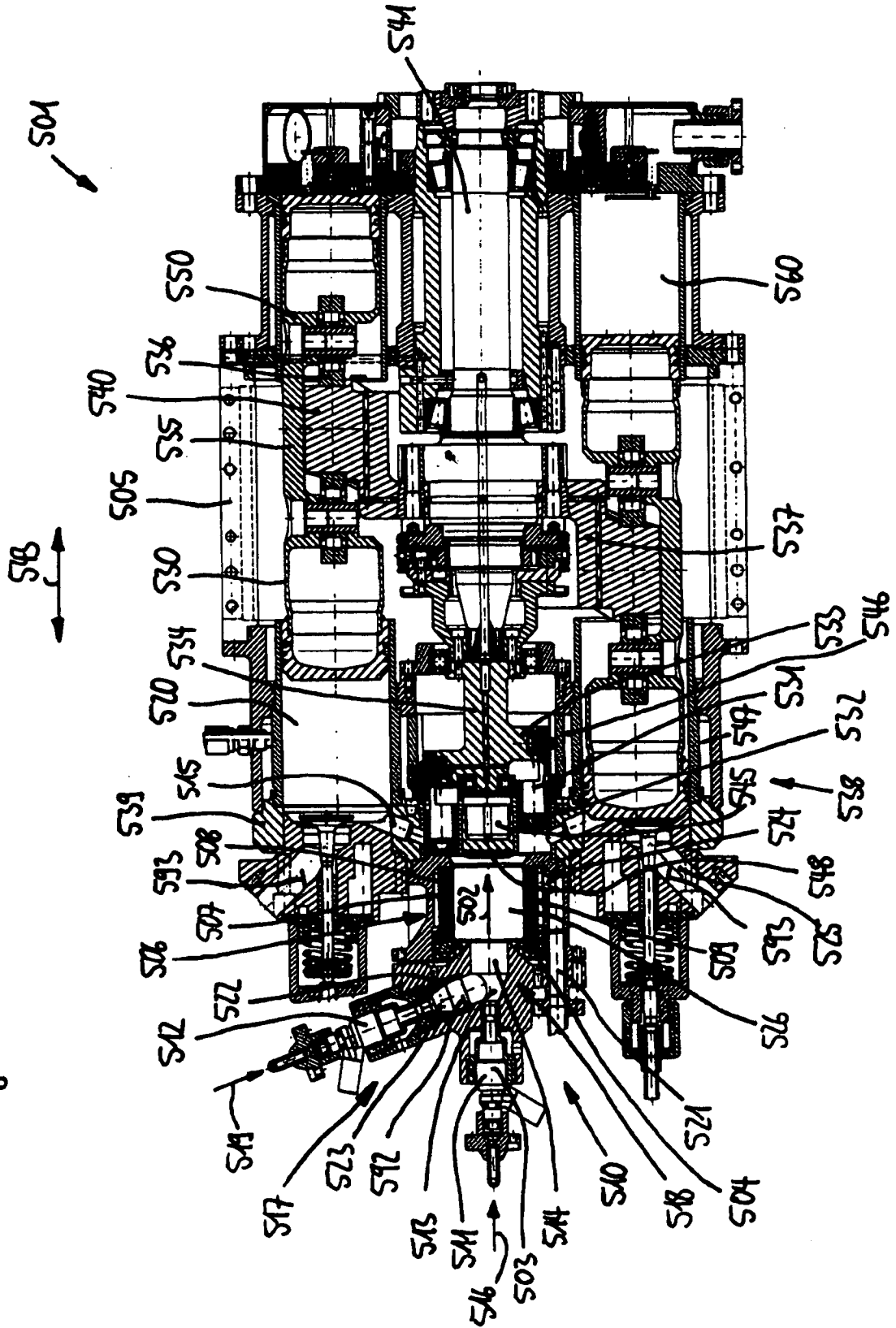


Fig. 6

