(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
5. November 2015 (05.11.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/165581 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F01K 7/36 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/000861

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. April 2015 (27.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 005 882.4
27. April 2014 (27.04.2014) DE
10 2014 012 299.9
24. August 2014 (24.08.2014) DE
10 2014 012 854.7
3. September 2014 (03.09.2014) DE
10 2014 014 802.5
12. Oktober 2014 (12.10.2014) DE

(71) Anmelder: **RICHTER, Berta** [DE/DE]; Oberländerstrasse 123, 86163 Augsburg (DE).

(72) Erfinder: **RICHTER, Hans**; Oberländerstrasse 123, 86163 Augsburg (DE).

(74) Anwalt: **GALLO, Wolfgang**; Buchenweg 17, 86573 Obergriesbach (DE).

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

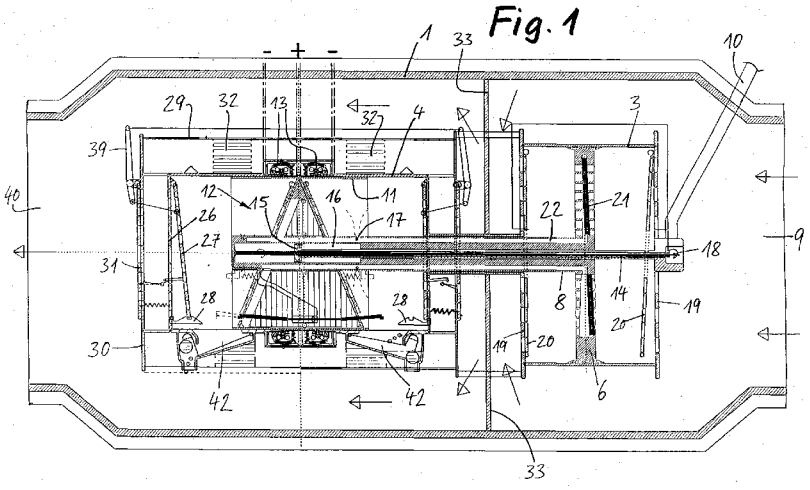
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD AND HEAT ENGINE FOR MAKING WASTE HEAT OR GEOTHERMAL HEAT USABLE FOR PRODUCING ELECTRICAL ENERGY

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN UND WÄRMEKRAFTMASCHINE ZUR NUTZBARMACHUNG VON ABWÄRME ODER GEOTHERMISCHER WÄRME ZUR ERZEUGUNG VON ELEKTRISCHER ENERGIE

Fig. 1



(57) **Abstract**: The invention relates to a method and to a heat engine for producing electrical energy from heat at a relatively low initial temperature level, particularly waste heat, geothermal heat, or environmental heat, wherein a heat-transfer medium laden with heat is squirted or sprayed into a cylinder chamber containing a working gas in order to move a piston that can be displaced in the cylinder, wherein the piston motion is converted into electric current by means of piezoelectric blocks, which are arranged in a stationary manner and interact with the lateral piston surface, and wherein liquid and/or gaseous heat-transfer medium can be used and the working gas is cooled back down after the working cycle.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/165581 A2

Veröffentlicht:

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

Verfahren und Wärmekraftmaschine zum Erzeugen elektrischer Energie aus Wärme auf relativ niedrigem Ausgangstemperaturniveau, insbesondere Abwärme, geothermischer Wärme oder Umweltwärme, wobei ein mit der Wärme beladenes Wärmeträgermedium in einen ein Arbeitsgas enthaltenden Zylinderraum eingespritzt oder eingesprüht wird, um einen im Zylinder verschiebbaren Kolben zu bewegen, wobei die Kolbenbewegung über feststehend angeordnete, mit der Kolbenmantelfläche zusammenwirkende Piezoblöcke in elektrischen Strom umgesetzt wird, und wobei flüssiges und/oder gasförmiges Wärmeträgermedium verwendet werden kann und das Arbeitsgas nach dem Arbeitszyklus rückgekühlt wird.

Verfahren und Wärmekraftmaschine zur Nutzbarmachung von Abwärme oder geothermischer Wärme zur Erzeugung von elektrischer Energie

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Wärmekraftmaschine zur Nutzbarmachung von Abwärme oder geothermischer Wärme zur Erzeugung elektrischer Energie.

Generell gesagt, betrifft die Erfindung die Nutzbarmachung von Wärme auf relativ niedrigem Temperaturniveau, insbesondere in einem etwa bis zum Siedepunkt von Wasser reichenden Temperaturbereich, zum Erzeugen von elektrischem Strom. Solche Kategorien von Wärme können bisher nicht zur Erzeugung von elektrischem Strom und über diesen zur Erzeugung von Arbeitsleistung ausgenutzt werden, da sich herkömmliche Kraftmaschinen zum Antrieb elektrischer Generatoren damit nicht betreiben lassen.

Eine Heißgas-Wärmekraftmaschine arbeitet, im Gegensatz zu üblichen Kolbenmotoren oder Gas- oder Dampfturbinen, mit innerhalb des Motors verbleibendem und nicht ausgetauschtem Gas. Ein Heißgasmotor ist in Gestalt des Stirling-Motors bekannt. Beim Stirling-Motor, der stets zwei Kolben benötigt, sind ein permanent erhitzter Zylinderbereich und ein permanent gekühlter Zylinderbereich vorhanden, zwischen denen das Arbeitsgas hin und her bewegt wird. Im erhitzten Zylinderraum dehnt sich das Arbeitsgas aus und leistet Arbeit, und im gekühlten Zylinderraum zieht sich das Arbeitsgas wieder zusammen.

Nachteilig ist bei dem bekannten Stirling-Motor, dass die gesamte, zum Beheizen des heißen Zylinderraums zugeführte Wärme durch eine dicke Zylinderwand zugeführt werden muss, was zwar die Benutzung jeder beliebigen Art von zur Zylinderwand zuführbaren Wärme ermöglicht, aber dem Stirling-Motor eine erhebliche Trägheit aufzwingt. Zu dieser Trägheit trägt auch der Umstand bei, dass das Arbeitsgas bei jedem Zyklus zwischen dem heißen Zylinderraum und dem kalten Zylinderraum durch relativ enge Kanäle verschoben

BESTÄTIGUNGSKOPIE

werden muss. Außerdem können heißer Bereich und kalter Bereich beim Stirling-Motor nicht vertauscht werden. Größere Energiemengen können daher mit dem Stirling-Motor nicht umgesetzt werden.

Aus der EP 2 711 509 A2 der hiesigen Anmelderin ist bereits ein Verfahren und eine modifizierte Heißgas-Wärmekraftmaschine zur Erzeugung von elektrischem Strom bekannt. Dabei ist in einem liegend angeordneten Zylinder ein Kolben hin und her verschiebbar angeordnet, der durch Arbeitsgas angetrieben wird, das sich in beiderseits des Kolbens angeordneten Zylinderkammern befindet.

Im Gegensatz zum herkömmlichen Stirling-Motor erfolgt die Wärmebeaufschlagung des Arbeitsgases nicht durch von außen auf die Zylinderwand und von dieser auf das in der jeweiligen Zylinderkammer befindlicher Arbeitsgas übertragene Wärme, sondern durch Einspritzen oder Einsprühen eines heißen Wärmeträgermediums, insbesondere Wasser, in flüssigem oder naßdampfförmigem Zustand in die jeweilige Zylinderkammer. Dadurch erfolgt ein intensiver schneller Wärmeaustausch zwischen den Wärmeträgerpartikeln und den Gasmolekülen in der Zylinderkammer, wodurch der Druck des Arbeitsgases sich erhöht und den Kolben in Richtung auf die jeweils andere Zylinderkammer verschiebt. Das durch die Wärmeabgabe an das Arbeitsgas abgekühlte Wärmeträgermedium gelangt durch Schwerkraft zum Bodenbereich der jeweiligen Zylinderkammer und wird dort aufgefangen und über eine Sammelkammer abgeleitet.

Der hin- und hergehende Kolben bildet dabei auch einen Teil eines elektrischen Generators, indem entweder der Kolbenmantel unmittelbar mit sich darauf abstützenden Piezopaketen von um den Umfang des Kolbenmantels herum angeordneten piezoelektrischen Generatoren zusammenwirkt, oder der Kolben mit daran angeordneten Magnetringen mit einem den Kolben umgebenden elektrischen Stator zusammen einen elektrischen Lineargenerator bildet.

Damit wird bezweckt, Abwärme oder Wärme auf relativ niedrigem Temperaturniveau effektiv ausnutzen zu können, die sonst außer zu Heizzwecken kaum mehr nutzbar gemacht werden könnte.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine gegenüber dem Entwurf nach der oben erörterten EP 2 711 509 A2 noch wesentlich breitere und effektivere Nutzbarmachung von Wärme der oben genannten Kategorien durch ein Verfahren und eine Wärmekraftmaschine zu schaffen, mit welcher erhebliche Leistungen umgesetzt werden können, um zur Stromerzeugung ausgenutzt zu werden. Insbesondere soll es möglich sein, auch mit Wärme aus Wärmeträgermedien auf niedrigem Temperaturniveau zu arbeiten, wie beispielsweise Umgebungsluft.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch das in Anspruch 1 angegebene Verfahren und die im Anspruch 2 angegebene Wärmekraftmaschine gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in einer Wärmekraftmaschine nach der Erfindung ein flüssiges oder gasförmiges Wärmeträgermedium in das auf möglichst niedriger Temperatur gehaltene Arbeitsgas im Zylinderraum eines Arbeitszylinders eingeleitet, wobei bei Verwendung eines gasförmigen Wärmeträgermediums dieses vor dem Einleiten vorverdichtet wird, so dass durch den Druckanstieg und die Expansion des Arbeitsgases ein Arbeitskolben im Arbeitszylinder bewegt wird, der mit seinem Kolbenmantel mit als elektrische Generatoren wirkenden Piezoblöcken zusammenwirkt und Strom erzeugt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine kann die in einem Wärmeträgermedium enthaltene Wärme weitgehend zur Gewinnung elektrischer Energie ausgenutzt werden. Das Wärmeträgermedium kann sowohl flüssig als auch gasförmig sein, insbesondere Wasser oder Luft sein, wobei jeweils der Wärmeaustausch mit in der Zylinderkammer befindlichem Gas, insbesondere Luft, stattfindet.

Aufgrund der Einspritzung oder Einleitung des Wärmeträgermediums in die Zylinderkammer erfolgt der Wärmeeintrag in die Zylinderkammer der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine unmittelbar und ohne Verzögerung. Die eingetragene Wärmemenge ist nicht von der Größe der Zylinderkammeroberfläche und der Wärmedurchlassfähigkeit der Zylinderkammerwand abhängig, sondern kann durch die Menge des eingeleiteten Wärmeträgermediums gesteuert werden. Dadurch kann bei entsprechend großem Zylinderraum wesentlich mehr Wärme pro Zeiteinheit in die Zylinderkammer eingetragen werden, als dies bei bloßem Wärmeleitungsdurchgang durch die Zylinderwand eines Stirling-Motors möglich

wäre.

Ein flüssiges Wärmeträgermedium, vorzugsweise Wasser, kann durch Aufnahme von Abwärme erhitzt werden. Die Abwärme kann beispielsweise aus Kühltürmen von Kraftwerksanlagen stammen, in dem die vom Kühlwasser beim Hindurchrieseln durch den Kühlturm aufgenommene Wärme in der Heißgas-Wärmekraftmaschine als Nutzwärme eingesetzt wird. Dadurch wird zuvor nicht mehr ausnutzbare Abwärme in Nutzwärme umgewandelt und zugleich die Umwelt weniger belastet. Ebenso können beliebige andere Arten von Abwärme aus industriellen Prozessen in nutzbare Energie umgewandelt werden.

Ein gasförmiges Wärmeträgermedium kann beispielsweise heißes Abgas oder heiße Abluft aus industriellen Prozessen oder aus anderen Quellen sein.

Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine unterscheidet sich vom Prinzip des bekannten Stirling-Motors also ganz wesentlich dadurch, dass der Wärmeeintrag nicht durch Wärmeleitung durch die Zylinderwand hindurch erfolgt, sondern durch unmittelbares Einleiten eines flüssigen oder gasförmigen Wärmeträgermediums in einen Zylinderraum, wo es sich mit kaltem Arbeitsgas vermischt und zum adiabatischen Druckanstieg führt.

Das Einspritzen eines flüssigen Wärmeträgermediums erfolgt in Gestalt einer Tröpfchenwolke, so dass das flüssige Wärmeträgermedium möglichst schnell und intensiv mit dem Gas, vorzugsweise Luft, im Zylinderraum in Berührung kommt, und der Wärmeaustausch zwischen dem Wärmeträgermedium und dem Gas schnell und intensiv stattfindet. Aufgrund der Schwerkraft findet dann eine Abscheidung der Tröpfchen von dem erwärmten Gas statt, und die durch den Wärmeaustausch abgekühlte Wärmeträgerflüssigkeit sammelt sich im Bodenbereich des Zylinderraums und fließt dort durch Öffnungen in eine Flüssigkeitssammelkammer. Das im Zylinder befindliche, unter Druck stehende Gas dehnt sich durch die Wärmeaufnahme von dem eingespritzten flüssigen Wärmeträgermedium weiter aus und treibt den Kolben an. Das durch den Wärmeeintrag durch die Wärmeträgerflüssigkeit erhitzte Gas kühlt sich durch die Arbeitsleistung sowie an gekühlten Zylinderwänden wieder ab und kann beim erneuten Wärmeeintrag wieder aufgeheizt werden.

Das flüssige Wärmeträgermedium scheidet sich von dem im Zylinder befindlichen, unter Druck stehenden Arbeitsgas durch Schwerkraft ab. In gleicher Weise ist es möglich, auch

Nassdampf in einem Temperaturbereich zu verwenden, der dazu führt, dass der Nassdampf im Zuge der Wärmeabgabe an das in der Zylinderkammer befindliche Arbeitsgas kondensiert und als Kondenswasser ausfällt.

Ein flüssiges Wärmeträgermedium, insbesondere Wasser, kann im Zuge der Abgabe der von ihm transportierten Wärme an das Arbeitsgas im Zylinderraum auch unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden, so dass verbrauchtes Wärmeträgermedium nicht in Gestalt von Kondenswassertröpfchen, sondern in Gestalt von Eiskristallen ausfällt.
Eine Auffangkammer für das verbrauchte Wärmeträgermedium, die unter dem Zylinder angeordnet ist, ist selbstverständlich geschlossen und steht unter dem im Zylinderraum herrschenden Druck. Aus der Auffangkammer können die Kondensflüssigkeit oder die Eiskristalle nach Bedarf, gesteuert durch ein Ventil, abgelassen werden. Die Steuerung kann beispielsweise in Abhängigkeit vom Flüssigkeitspegel durch ein Schwimmerventil oder in Abhängigkeit vom Gewicht der angesammelten Eiskristalle durch eine Schwerkraftklappe erfolgen.

Wird mit gasförmigem Wärmeträgermedium gearbeitet, vermischt sich dieses beim Einleiten in den jeweiligen Zylinderraum mit dem bereits darin befindlichen Arbeitsgas und bildet so einen Teil des Arbeitsgases, wobei am Ende jedes Arbeitszyklus ein Teil des Arbeitsgases aus dem jeweiligen Zylinderraum entlüftet wird, so dass im Verlauf aufeinanderfolgender Zyklen ein ständiger teilweiser Austausch des bereits im Zylinderraum befindlichen Arbeitsgases durch eingeleitetes Wärmeträgergas erfolgt.

Das gasförmige Wärmeträgermedium kann Umgebungsluft sein, aus welcher die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine nach Art einer Wärmepumpe Wärme abnimmt und die abgenommene Wärmeenergie in Strom umwandelt. Die Verwendung eines gasförmigen Wärmeträgermediums wie insbesondere warme Umgebungsluft ermöglicht ein Arbeiten der Wärmekraftmaschine auf weit unter dem Nullpunkt liegendem Temperaturniveau, um eine große Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgergas und Arbeitsgas ausnutzen zu können. Eine Auffangkammer unter dem Zylinder dient dann nicht, wie beim Arbeiten mit flüssigem Wärmeträgermedium, zum Auffangen von kondensiertem oder gefrorenem verbrauchtem Wärmeträgermedium, sondern zum Auffangen von Eiskristallen, die von dem Feuchteanteil des benutzten gasförmigen Wärmeträgermediums herrühren.

Beispielsweise kann die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine, die natürlich entsprechend isoliert sein muß, mit einem Temperaturniveau von bis zu -100 °C oder sogar darunter arbeiten. Dies ist natürlich deshalb vorteilhaft, weil bei dem dann geschaffenen großen Temperaturgefälle entsprechend viel Wärmeenergie ausnutzbar ist.

Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine hat vorzugsweise einen liegend angeordneten Zylinder mit darin hin und her gehendem Kolben, und im Zylinder ist beiderseits des Kolbens jeweils ein Zylinderraum gebildet. Das heiße oder warme Wärmeträgermedium wird abwechselnd in den einen und den anderen Zylinderraum eingespritzt oder eingeleitet und beheizt das im jeweiligen Zylinderraum befindliche Gas, so dass der Kolben jeweils aus der gerade beheizten Zylinderkammer in Richtung zur anderen Zylinderkammer verschoben wird.

Die hin und her gehende Kolbenbewegung wird durch eine zyklische Umsteuerung erzeugt, wobei die Einleitung des Wärmeträgermediums abwechselnd in den einen oder in den anderen Zylinderraum erfolgt. Dies kann mittels gesteuerten Ventilen erfolgen, beispielsweise in Gestalt eines Drehschiebers, um die Zufuhr des Wärmeträgermediums in den einen oder in den anderen Zylinderraum umzusteuern, und dazwischen gegebenenfalls kurzzeitig zu unterbrechen.

Der Kolben ist als Freikolben in Gestalt eines Plungerkolbens ausgebildet, der mit seinem Kolbenmantel eine relativ große axiale Ausdehnung hat. Bei der deshalb großen axialen Länge des Kolbenmantels kann der Spalt zwischen Kolbenmantel und Zylinderwand so bemessen sein, dass der Kolben gewissermaßen auf einem Gasfilm gleitet, und eine sehr gute Abdichtung wird aufgrund der Länge des dünnen Spalts und der Ausbildung einer Labyrinthdichtung gewährleistet. Da der Zylinder vorzugsweise liegend angeordnet ist, kann der Kolben in seinem unteren Bereich außerdem auch Rollen haben, um Reibungsverluste zu vermeiden.

Die erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine ist zugleich als elektrischer Generator ausgebildet. Dies geschieht dadurch, dass ein Kranz von piezoelektrischen Generatoren vorgesehen ist, die mit dem Kolbenmantel zusammenwirken, und die entsprechend der Beschreibung in dem europäischen Patent EP 2 013 965 B1 ausgebildet sind. Diese Piezogeneratoren bestehen also jeweils aus miteinander zusammenwirkenden Klemmpiezopaketen und

Schrittpiezopaketen, wobei die Klemmpiezopakete jedes Piezogenerators sich auf der Außenfläche des Kolbenmantels abstützen und durch die Kolbenverschiebebewegung auslenkbar sind, und wobei die Schrittpiezopakete jedes Piezogenerators mit den damit verbundenen Klemmpiezopaketen zusammenwirken, um im Generatorbetrieb die durch die Relativbewegung zwischen Kolbenmantel und Klemmpiezopaketen erzeugte schrittweise Auslenkung der Klemmpiezopakete in elektrischen Strom umzuwandeln, oder umgekehrt im Motorbetrieb beim Anfahren oder bei der Unterstützung der Kolbenbewegung jeweils in der Endphase jedes Kolbenhubs die Klemmpiezopakete zum Kolbenvorschub auszulenken.

Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen in näheren Einzelheiten beschrieben.

In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1	eine Wärmekraftmaschine nach der Erfindung mit hin und her gehendem Kolben im Axialschnitt in der Kolbenmittelstellung,
Fig. 2	einen Axialschnitt ähnlich Fig. 1, jedoch nur des Zylinders ohne den darin beweglichen Kolben,
Fig. 3	einen Axialschnitt nur des Kolbens,
Fig. 4	einen Axialschnitt ähnlich Fig. 1, wobei sich der Kolben kurz vor der linken Endstellung befindet,
Fig. 5	einen Axialschnitt ähnlich Fig. 4, wobei der Kolben sich noch etwas näher vor der linken Endstellung befindet,
Fig. 6	einen Axialschnitt ähnlich den Fig. 4 und 5, wobei sich der Kolben nunmehr ganz in der linken Endstellung befindet,

Fig. 7 einen Axialschnitt ähnlich den Fig. 4 bis 6, wobei der Kolben seine Rückhubbewegung nach rechts begonnen hat, und

Fig. 8 in vergrößertem Axialschnitt den Arbeitskolbenteil des in Fig. 3 dargestellten Kolbens in der aus Fig. 7 ersichtlichen Stellung am Beginn eines Hubwegs.

Die schematischen Zeichnungen zeigen ein Ausführungsbeispiel, das sowohl für den Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium als auch für den Betrieb mit gasförmigem Wärmeträgermedium ausgebildet ist. Soll die Wärmekraftmaschine nur für den Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium oder nur mit gasförmigem Werbeträgermedium ausgelegt werden, kann der Aufbau durch entsprechende Modifikationen jeweils vereinfacht werden.

Zur Erläuterung des grundsätzlichen Aufbaus wird auf die Fig. 1 bis 3 Bezug genommen, von denen Fig. 1 die Wärmekraftmaschine insgesamt bei in einer Mittelstellung befindlichem Kolben im Axialschnitt zeigt, und wobei Fig. 2 nur den Zylinder und Fig. 3 nur den Kolben separat ebenfalls jeweils im Axialschnitt zeigt.

Gemäß Fig. 1 weist die Wärmekraftmaschine einen äußeren Mantel 1 auf, der mit einer sehr guten Wärmeisolierung versehen ist.

Innerhalb des Mantels 1 und von diesem durch einen radialen Zwischenraum getrennt ist ein Zylinder 2 liegend angeordnet, der einen Verdichtungszylinder 3 und einen Arbeitszylinder 4 umfaßt.

Im Zylinder 2 ist ein Kolben 5 hin und her verschiebbar angeordnet, der einen im Verdichtungszylinder 3 angeordneten Verdichtungskolben 6 und einen im Arbeitszylinder 4 angeordneten Arbeitskolben 7 umfaßt, wobei der Verdichtungskolben 6 und der Arbeitskolben 7 durch ein Verbindungsrohr 8 starr miteinander verbunden sind, so dass der gesamte Kolben 5 als eine Einheit zwischen zwei Endstellungen im Zylinder 2 hin und her verschiebbar ist. Dabei kann, wie aus der Darstellung ersichtlich, der Durchmesser des Verdichtungszy-

linders 3 und des Verdichtungskolbens 6 größer sein als der Durchmesser des Arbeitszylinders 4 und des Arbeitskolbens 7.

Der Verdichtungszylinder 3 und der Verdichtungskolben 6 dienen nur dem Betrieb mit gasförmigem Wärmeträgermedium; beim Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium werden sie nicht benötigt. Es können auch gleichzeitig flüssiges und gasförmiges Wärmeträgermedium verarbeitet werden.

Ein Luft- oder Gaseinlaß 9 in Gestalt einer Öffnung mit großem Öffnungsquerschnitt an dem in der Darstellung rechten Ende des Mantels 1 läßt beim Betrieb mit gasförmigem Wärmeträgermedium dieses in den den Verdichtungszylinder 3 umgebenden Raum innerhalb des Mantels 1 eintreten. Dieser Raum umfaßt Bereiche axial vorderhalb und hinterhalb des Verdichtungszylinders 3 sowie einen Ringraumbereich zwischen dem Verdichtungszylinder 3 und dem Mantel 1.

Für den Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium ist ein Einlaßrohr 10 für das flüssige Wärmeträgermedium vorgesehen.

Der im Arbeitszylinder 4 angeordnete Arbeitskolben 7 hat einen zylindrischen Kolbenmantel 11 mit erheblicher axialer Länge, der als Wandkörper ausgebildet ist, der einen im Axialschnitt etwa dreieckigen Kolbenkörper 12 umschließt, dessen Einzelheiten später noch erläutert werden.

Der Kolbenmantel 11 wirkt mit seiner Außenfläche mit hauptsächlich als Piezogeneratoren dienenden Piezoblöcken 13 zusammen, die beim Ausführungsbeispiel in Gestalt von zwei axial hintereinander angeordneten Kränzen um den gesamten Umfang des Kolbenmantels herum in einer radialen Erweiterung im axialen Mittenbereich des Arbeitszylinders 4 angeordnet sind. Diese umfassen jeweils, wie schon eingangs erläutert, Kombinationen aus Klemmpiezopaketen und Schrittpiezopaketen, wobei die Klemmpiezopakete etwa achssenkrecht zum Arbeitskolben angeordnet sind und sich jeweils mit einem Fuß auf dem Kolbenmantel abstützen, und die damit verbundenen Schrittpiezopakete Auslenkungen der Klemmpiezopakete durch die Kolbenverschiebebewegung des Arbeitskolbens in der einen oder anderen Richtung in elektrische Spannungsimpulse umwandeln, um elektrischen Strom zu erzeugen, oder im Anfahrbetrieb sowie jeweils in der Hubendphase der Kolben-

bewegung zu deren Unterstützung die Klemmpiezopakete auslenken, um den Kolben mitzunehmen. Einzelheiten des Aufbaus und der Wirkungsweise der sowohl als Generator als auch als Motor betreibbaren Piezoblöcke finden sich in der eingangs erwähnten EP 2 013 965 B1.

Durch das Zusammenwirken des Arbeitskolbens 7 über dessen Kolbenmantelaußenfläche mit den Piezoblöcken 13 wird die Hin- und Herbewegung des Arbeitskolbens direkt in elektrischen Strom umgewandelt.

Nunmehr wird der Betrieb der Wärmekraftmaschine mit flüssigem Wärmeträgermedium beschrieben.

Über das nur schematisch dargestellte Einlaßrohr 10 gelangt flüssiges Wärmeträgermedium in ein Rohr 14, das feststehend innerhalb des Verbindungsrohrs 8 angeordnet ist. Von da aus gelangt das flüssige Wärmeträgermedium durch einen als Umschaltventil dienenden Drehschieber 15 in eine innerhalb des Verbindungsrohrs 8 gebildete, durch den Drehschieber 15 in zwei beiderseits des Drehschiebers 15 gelegene axiale Teilkammern unterteilte Kammer 16. Aus jeder Teilkammer der Kammer 16 mündet in deren vom Drehschieber 15 entferntem axialem Endbereich eine Mehrzahl von Düsen 17 in den jeweiligen Arbeitszylinderraum auf der einen bzw. anderen Seite des Arbeitskolbens 7 zum Einsprühen des Wärmeträgermediums in den Zylinderraum. Ein Servomotor 18 betätigt den Drehschieber 15 in Abhängigkeit von der axialen Stellung des Arbeitskolbens 7 im Arbeitszylinder 4 so, dass das zugeführte flüssige Wärmeträgermedium abwechselnd in die eine und die andere der beiden Teilkammern der Kammer 16 eingeleitet und von da aus in den jeweiligen Zylinderraum des Arbeitszylinders 4 eingesprüht wird, um das darin befindliche Arbeitsgas zu erhitzen und auszudehnen, und so den Kolben zu verschieben.

Nunmehr wird der Betrieb der Wärmekraftmaschine mit gasförmigem Wärmeträgermedium, insbesondere Luft als Wärmeträgermedium, beschrieben.

Durch den Einlaß 9 gelangt beispielsweise warme Umgebungsluft in den Raum um den Verdichtungszylinder 7 herum. Der Verdichtungszylinder 7 ist an seinen beiden axialen Enden durch Stirnwände 19 begrenzt, die jeweils eine Mehrzahl von Durchtritts-löchern haben, durch welche Luft oder Gas von dem umgebenden Raum in den einen oder anderen

Zylinderraum beiderseits des Verdichtungskolbens 6 eintreten kann. Die Durchtrittslöcher der jeweiligen Stirnwand 19 sind mittels einer beweglichen Klappe 20 verschließbar, die ihrerseits versetzt angeordnete Durchtrittslöcher aufweist, so dass, wenn die Klappe 20 an der Stirnwand 19 anliegt, deren Durchtrittslöcher verschlossen sind, und, wenn die Klappe 20, wie dargestellt, durch leichtes Verschwenken geöffnet ist, die Luft durch die Löcher der Stirnwand 19 und die dazu seitlich versetzten Löcher der Klappe 20 in den jeweiligen Zylinderraum eintreten kann.

Der Verdichtungskolben 6 ist hohl und hat mit Durchtrittslöchern versehene axiale Stirnwände, und eine im Inneren des Verdichtungskolbens 6 pendelfähig angeordnete Verschlußklappe 21 verschließt in Abhängigkeit von der Verdichtungskolbenbewegung die Durchtrittslöcher an der einen oder anderen Stirnwand dieses Kolbens. Durch die Stirnwand, deren Löcher jeweils nicht durch die Klappe 21 verschlossen sind, kann Luft aus dem angrenzenden Zylinderraum in den Verdichtungskolben eintreten und gelangt von dort durch einen im Verbindungsrohr 8 gebildeten Ringkanal 22 in den Kolbenkörper 12 des Arbeitskolbens 7 hinein.

In Fig. 1 befindet sich der Kolben etwa in der Mittelstellung seines möglichen Kolbenbewegungswegs. Er befindet sich, wie die dargestellten Verhältnisse zeigen, auf dem Bewegungsweg von rechts nach links. Dadurch wird die Luft in der linken Zylinderkammer des Verdichtungskolbens verdichtet, was bewirkt, dass die am linken Zylinderende befindliche Klappe 20 an die dortige Stirnwand 19 angedrückt und deren Durchtrittslöcher verschlossen werden, und dass die Klappe 21 innerhalb des Verdichtungskolbens 6 nach rechts an die Löcher der dortigen Stirnwand gedrückt werden und die Luft aus der linken Zylinderkammer unter gleichzeitiger Komprimierung durch den Ringkanal 22 und von diesem durch den Ringkanal mit dem Inneren des Arbeitskolbenkörpers 12 verbindende Durchtrittsöffnungen in das Innere des Arbeitskolbenkörpers 7 befördert wird. Gleichzeitig vergrößert sich das Volumen der Zylinderkammer rechts des Verdichtungskolbens, so dass die Klappe 20 der rechten Kolbenstirnwand 19 sich öffnet und Luft aus dem Raum um den Verdichtungszylinder 3 herum durch die rechte Stirnwand angesaugt wird.

Bewegt sich der Kolben in der Gegenrichtung von links nach rechts, wird Luft in der rechten Zylinderkammer komprimiert und durch den Ringkanal 22 in das Innere des Arbeits-

kolbenkörpers 12 befördert, während Luft aus dem Raum um den Verdichtungszylinder 4 herum durch die linke Stirnwand 19 bei dort geöffneter Klappe 20 angesaugt wird.

Der Aufbau des Arbeitskolbens ist in Fig. 3 besser erkennbar, wo der Kolben separat dargestellt ist. Dort ist erkennbar, dass der Kolbenkörper 12 des Arbeitskolbens 7 hohl ist und zwei geneigte axiale Stirnwände 23 aufweist, die mit Durchtrittslöchern versehen sind, und die jeweils von einer schwenkbaren, außen angeordneten Klappe 24 mit dazu versetzten Durchtrittslöchern verschließbar sind. Im Inneren des hohlen Kolbenkörpers 12 befindet sich ein Schiebekörper 25, der in Axialrichtung um eine gewisse Distanz axial verschiebbar ist und dadurch abwechselnd auf der rechten oder linken axialen Seite des Kolbenkörpers eine Kammer bildet, die sich bei der Darstellung in Fig. 3 auf der rechten Seite befindet, in welche das komprimierte gasförmige Wärmeträgermedium eingeleitet wird, und von wo aus es, wenn der Kolben sich in seiner entsprechenden Endstellung befindet, das gasförmige Wärmeträgermedium durch Öffnen der betreffenden Klappe 24 in dem entsprechenden Zylinderraum des Arbeitszylinders 4 entlüftet wird.

Wenn gleichzeitig flüssiges und gasförmiges Wärmeträgermedium verarbeitet werden, kann der Anteil des gasförmigen Wärmeträgermediums reduziert werden, indem im Verdichterkolben 6 die Klappe 21 durch ein von einem Servomotor betätigtes Gestänge länger oder kürzer offengehalten wird.

Im Folgenden wird nun anhand der Fig. 4 bis 7 ein Arbeitszyklus beschrieben.

Die Fig. 4 bis 7 zeigen jeweils Axialschnitte in gleicher Weise wie Fig. 1, jedoch in verschiedenen Phasen der Kolbenbewegung.

In Fig. 4 befindet sich der Kolben kurz vor seiner linken Endstellung. Alle Klappen befinden sich in der gleichen Stellung wie in Fig. 1, da sich auch bei der in Fig. 1 gezeigten Mittelstellung des Kolbens der Kolben sich auf dem Bewegungsweg von rechts nach links befindet. Dies bedeutet Ansaugen von Luft in die rechte Kammer des Verdichtungszylinders 3 und Komprimieren der Luft in der linken Kammer des Verdichtungszylinders, und Expansion des Arbeitsgases in der rechten Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4 und Ausstoßen von Arbeitsgas aus der linken Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4.

Der Arbeitszylinder 4 hat wiederum mit Durchtrittslöchern versehene axiale Stirnwände 26, die jeweils durch eine schwenkbare, innenseitig angeordnete Klappe 27 mit dazu versetzten Durchtrittslöchern verschließbar ist. In den Fig. 1 und 4 ist die Klappe 27 an der linken Stirnwand des Arbeitszylinders 4 geöffnet und an der rechten Stirnwand natürlich geschlossen. Ebenso sind die Klappen 24 am Arbeitskolbenkörper 12 beide geschlossen.

Der Kolbenantrieb erfolgt dabei bei Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium durch Einspritzen desselben in die rechte Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4 durch die Düsen 17, das dadurch bewirkt wird, dass während der Kolbenbewegung die entsprechende Teilkammer der Kammer 16 im Verbindungsrohr 8 sich volumenmäßig verkleinert, weil der Drehschieber 15 am Ende des Rohres 14 feststeht und sich das Verbindungsrohr 8 mit der Kammer 16 als Bestandteil des Kolbens 5 verschiebt, so dass das in der jeweiligen Teilkammer befindliche flüssige Wärmeträgermedium durch die jeweiligen Düsen 17 herausgepreßt und in die Zylinderkammer eingesprüht wird.

Bei Betrieb mit gasförmigem Wärmeträgermedium, insbesondere Luft, ist diese bereits bei Beginn des Kolbenhubs in den Zylinderraum freigesetzt worden, um den Arbeitskolben anzutreiben.

Während der Arbeitskolben 7 auf diese Weise in der in den Fig. 1 bis 6 dargestellten Bewegungsphase von rechts nach links bewegt wird, ist die Klappe 27 an der linken Stirnwand 26 des Arbeitszylinders 4 durch leichtes Wegschwenken von der Stirnwand 26 geöffnet und durch eine Raste 28 in dieser Offenstellung arretiert, so dass während des Bewegungsvorgangs Arbeitsgas aus der linken Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4 herausgedrückt werden kann.

Das auf diese Weise aus dem Zylinderraum ausgeschobene Gas gelangt in einen den Arbeitszylinder 4 sowohl an seinem Umfang als auch an beiden axialen Enden umgebenden Raum, der zwischen dem Arbeitszylinder 4 und einer äußeren Umhüllung 29, 30 gebildet ist, die aus einer Umfangswand 29 und an den axialen Enden angeordneten Stirnwänden 30 besteht. Diese Stirnwände 30 haben wiederum Durchtrittslöcher, die durch eine ausschwenkbare Klappe 31 mit dazu versetzt angeordneten Durchtrittslöchern verschlossen ist.

In diesem den Arbeitszlyinder 4 umgebenden Raum sind zwischen dem Außenumfang des Arbeitszylinders 4 und dem Innenumfang der Mantelwand 29 der Umhüllung Rekuperatoren 32 angeordnet, die beim Ausführungsbeispiel axial beiderseits der Piezoblöcke 13 angeordnet sind. Die Umhüllung aus der Mantelwand 29 und den Stirnwänden 30 um den Arbeitszylinder 4 herum ist ihrerseits allseits von einem Raum umgeben, der zwischen der Umhüllung und dem isolierten Mantel 1 gebildet ist. Dabei unterteilt eine radiale, gut wärmeisolierte Trennwand 33 (deren Wärmeisolierung aus Vereinfachungsgründen nicht dargestellt ist) den Raum innerhalb des Mantels 1 in einen den Verdichtungszylinder 3 umgebenden Raum und einen den Arbeitszylinder 4 mit seiner Umhüllung 29, 30 umgebenden Raum. Die Mantelwand 29 der Umhüllung 29, 30 ist gut wärmeleitend ausgebildet, so dass Wärme aus dem Zwischenraum zwischen dem Arbeitszylinder 4 und der Mantelwand 29 in den diese umgebenden Raum abgegeben werden kann.

In Fig. 5 ist der Kolben gegenüber Fig. 4 noch ein wenig weiter nach rechts verschoben. Im Kolbenkörper 12 des Arbeitskolbens 7, nämlich in dessen innerem Schiebekörper 25, ist eine Kuppelstange 34 montiert, die beiderseits axial über den Kolbenkörper überstehende hakenförmige Enden hat. In der Stellung nach Fig. 5 hat das linke Hakenende der Kuppelstange 34 beim Auftreffen auf die Raste 28 diese nach unten gedrückt und die von dieser in der Offenstellung arretierte Klappe 27 frei gegeben, so dass diese nun schließen kann. Die Schließbewegung wird durch eine an dem starr mit dem Kolbenkörper verbundenen Verbindungsrohr 8 angeordnete Schubnase 35 positiv unterstützt.

In Fig. 6 hat der Kolben seine linke Endstellung erreicht. Die Klappe 27 ist vollständig geschlossen und hat außerdem über einen daran starr angeordneten und durch eine der Durchtrittsöffnungen der Stirnwand 26 hindurchverlaufenden Stößel 36 einen zwischen der Stirnwand 30 und der Klappe 31 angeordneten Kniehebel 37 betätigt, was ein kurzzeitiges Öffnen der Klappe 31 entgegen der Rückstellkraft einer diese in Schließstellung vorspannenden Feder 38 bewirkt, so dass der den Arbeitszylinder 4 umgebende Raum innerhalb der Umhüllung 29, 30 entlüftet und druckentlastet wird.

Während des Schließens der Klappe 27 am linken Ende des Arbeitszylinders 4 ist zugleich die Klappe 27 am rechten Ende des Arbeitszylinders 4 synchron geöffnet worden, da beide Klappen 27 durch ein Gestänge 39 so miteinander verbunden sind, dass das Schließen der einen Klappe zugleich das Öffnen der anderen Klappe bewirkt. In Fig. 6 ist also die Klappe

27 am rechten Ende des Arbeitszylinders 4 nunmehr geöffnet und in der Offenstellung durch die ihr zugeordnete Raste 28 arretiert.

Das synchrone Öffnen der linken Klappe 27 während des Schließens der rechten Klappe 27 ist in Fig. 5 sichtbar, wo beide Klappen 27 in halbgeöffneter Stellung dargestellt sind. Da während dieses Vorgangs beide Klappen gleichzeitig geöffnet sind, und zwar, wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, zu einem Zeitpunkt, wo die Klappe 31 noch nicht geöffnet ist, kann aus dem rechten Zylinderraum noch warmes und unter erhöhtem Druck stehendes Arbeitsgas in den Raum um den Arbeitszylinder 4 herum entweichen, so dass durch Entspannung sich noch im rechten Zylinderraum befindliches Gas weiter abkühlt und das ausgetretene warme Gas sich beim Durchströmen des den Arbeitszylinder 4 umgebenden Raums durch Wärmeabgabe an die Rekuperatoren 32 abkühlt, bevor die Entlüftung des den Arbeitszylinder 4 umgebenden Raums durch Öffnen der Klappe 31 in den äußeren Raum innerhalb des Mantels 1 erfolgt, von wo aus das Gas durch einen Auslaß 40 aus dem Mantel 1 austreten kann.

Wärme wird außerdem von dem Gas in dem den Arbeitszylinder 4 umgebenden Raum über dessen Umhüllung 29, 30 in den darum herum befindlichen Raum abgegeben. Auch die Rekuperatoren 32 geben durch die Mantelwand 29 Wärme nach außen ab.
Aus Fig. 1 ist auch ersichtlich, dass in der Kolbenendstellung das linke Hakenende der Kuppelstange 34 in der linken Raste 28 eingehängt ist.

Wenn nun aus dieser Endstellung die Kolbenbewegung in die Gegenrichtung, also nach rechts beginnt, bleibt der damit verbundene Schiebekörper 25 innerhalb des hohlen Kolbenkörpers 12 des Arbeitskolbens an der Raste 28 hängen, während der übrige Kolbenkörper 12 die Verschiebebewegung nach rechts beginnt. Dadurch wird der Hohlraum links zwischen dem Schiebekörper 25 und der linken Stirnwand 23 des Kolbenkörpers 12, der mit aus dem vorhergehenden Kolbenhub durch den Verdichtungskolben verdichteter und eingepreßter Luft gefüllt ist, zusammengepreßt, wodurch die dortige Klappe 24 entgegen der Kraft einer sie in Schließrichtung vorspannenden Feder 41 geöffnet wird, wie in Fig. 7 sichtbar ist, so dass das heiße verdichtete Gas aus dieser Kammer in die linke Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4 austreten kann und dann den Kolben antreibt. Fig. 7 zeigt die erste Phase der Bewegung des Kolbens nach rechts.

Die begonnene Kolbenbewegung nunmehr nach rechts hat, wie in Fig. 7 ersichtlich ist, außerdem bewirkt, dass die Verschlußklappe 21 im Verdichtungskolben 6 nunmehr nach links geschwenkt ist und die Löcher an der linken Stirnwand des Verdichtungskolbens 6 verschließt, und dass die Klappe 20 an der rechten Stirnwand 19 des Verdichtungszylinders 3 nunmehr geschlossen ist und die Klappe 20 an der linken Stirnwand 19 des Verdichtungszylinders geöffnet ist, so dass dort Luft bzw. Gas in den Raum links vom Verdichtungskolben 6 einströmen kann, während die Luft bzw. das Gas rechts des Verdichtungskolbens 6 verdichtet und durch den Ringkanal 22 in den nunmehr rechts im Kolbenkörper 12 des Arbeitskolbens 7 zwischen dem Schiebekörper 25 und der rechten Stirnwand 23 des Kolbenkörpers 12 gebildeten Hohlraum eingepreßt wird.

Der weitere Vorgang der Kolbenverschiebung nach rechts bis in die rechte Endstellung erfolgt in gleicher Weise, wie dies für die Kolbenbewegung nach links beschrieben wurde.

Den beiderseits des Arbeitskolbens 7 befindlichen Zylinderkammern des Arbeitszylinders 4 ist jeweils eine unten angeordnete und mit dem betreffenden Zylinderraum verbundene Auffangkammer 42 zugeordnet, die zum Auffangen abgekühlten flüssigen Wärmeträgermediums bei Betrieb mit flüssigem Wärmeträgermedium, oder zum Auffangen von kondensierter Feuchtigkeit oder von gebildeten Eiskristallen aus dem Wärmeträgermedium dient. Durch die Expansion des Arbeitsgases während jedes Kolbenhubs durch die Vergrößerung des Volumens der jeweiligen Zylinderkammer des Arbeitszylinders 4 um ein Mehrfaches erfolgt eine entsprechende Entspannung und Abkühlung des Arbeitsgases.

Das Ablassen von aufgefangenem verbrauchtem flüssigem Wärmeträgermedium oder Kondensat oder von Eiskristallen aus den Auffangkammern 42 erfolgt füllstands- oder schwerkraftgesteuert durch ein Ventil oder eine Ventilklappe.

Um bei Beginn eines neuen Kolbenhubs aus einer Endstellung bei Betrieb mit gasförmigem Wärmeträgermedium den Gas- oder Luftaustritt aus der Kammer im Kolbenkörper 12 etwas zu strecken, kann eine hydraulische Drossel 43 vorgesehen sein, welche die Verschiebung des Verschiebekörpers 25 im Kolbenkörper bremst, um eine schlagartige Kolbenbeschleunigung zu vermeiden.

Über den jeweils größten Teil der Kolbenhubbewegung wird Nutzarbeit geleistet, indem der Kolbenmantel 11 des Arbeitskolbens über die Piezoblöcke 13 Strom erzeugt. Nur über jeweils einen kleinen Bereich der Kolbenhubbewegung jeweils an der Anfangsphase des Kolbenhubs nach der Endstellung und in der Endphase des Kolbenhubs bis zur Endstellung kann bedarfsweise eine Unterstützung der Kolbenhubbewegung durch die dann als Motor wirkenden Piezoblöcke 13 erfolgen, indem diese den Kolben über den Kolbenmantel 11 schieben oder dessen Bewegung unterstützen. Bei der Kolbenhubbewegung werden Arbeitskolben 12 und der Dichtungskolben 6 wegen deren starren Verbindung über das Verbindungsrohr 8 jeweils als eine Einheit synchron bewegt.

In der Anfahrphase der Wärmekraftmaschine kann der Kolben 5 über die Piezoblöcke 13 motorisch einige Male hin und her bewegt werden, bis im Zylinderraum des Arbeitszylinders 4 und dessen Umgebungsräumen eine tiefe Temperatur erzeugt worden ist, um ein hohes Temperaturgefälle zwischen dem eingeleiteten Wärmeträgermedium und der Temperatur im Zylinderraum zu erzeugen, um damit eine hohe Ausbeute von Wärmeenergie zu ermöglichen.

Wie schon eingangs gesagt, kann mit Arbeitszyklen gearbeitet werden, bei denen das Arbeitsgas den Arbeitszylinder am jeweiligen Zyklusende mit einer Temperatur von -100 °C bis -150 °C verläßt.

Nach jedem Arbeitszyklus sind Druck und Temperatur im Arbeitszylinderraum auf der Arbeitsseite des Arbeitskolbens 7 adiabatisch gesunken, was jedoch gemäß dem Carnot-Gesetz nicht bis auf das Ursprungsniveau möglich ist. Die für die erfindungsgemäße Arbeitsweise wichtige Rückkühlung erfolgt dadurch, dass das kalte Gas auf der Gegenseite des Kolbens nach etwa zwei Drittel des Kolbenhubs durch die stattfindende Kompression dem Druck des Arbeitsgases auf der Arbeitsseite des Kolbens gleicht und dann die Piezoblöcke 13 als Motor wirken und die weitere Verdichtung auf der Gegenseite vornehmen. Der dadurch entstehende Temperatur- und Druckanstieg auf der Gegenseite wird zur Rückkühlung verwendet, indem dieses Gas zur Wärmeabgabe an der als Wärmetauscher dienenden Umfassungswand 29 der Ummantelung 29, 30 vorbei und durch die Rekuperatoren 32 strömt und dann gekühlt, aber mit dem erhöhten Druck auf der Kolbengegenseite in das durch Energieentnahme abgekühlte und druckgeminderte Arbeitsgas auf der Ar-

beitsseite überströmt und dort nach dem Sterling-Kältemaschinenprinzip die ursprüngliche niedrige Arbeitsgastemperatur wieder herstellt. Dadurch wird jeweils das Arbeitsgas wieder auf das ursprüngliche Temperaturniveau heruntergefahren.

5

Bezugszeichenliste

1	Mantel
2	Zylinder
3	Verdichtungszylinder
4	Arbeitszylinder
5	Kolben
6	Verdichtungskolben
7	Arbeitskolben
8	Verbindungsrohr
9	Gaseinlaß
10	Einlaßrohr
11	Kolbenmantel
12	Kolbenkörper
13	Piezoblöcke
14	Rohr
15	Drehschieber
16	Kammer
17	Düsen
18	Servomotor
19	Stirnwand
20	Klappe
21	Verschlußklappe
22	Ringkanal
23	Stirnwand
24	Klappe
25	Schiebekörper
26	Stirnwand
27	Klappe
28	Raste
29	Umfangswand
30	Stirnwand

31	Klappe
32	Rekuperatoren
33	Trennwand
34	Kuppelstange
35	Schubnase
36	Stößel
37	Kniehebel
38	Feder
39	Gestänge
40	Auslaß
41	Feder
42	Auffangkammer
43	Drossel

Ansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen elektrischer Energie aus Wärme auf relativ niedrigem Ausgangstemperaturniveau,

wobei ein insbesondere mit Abwärme, geothermischer Wärme oder Umweltwärme beladenes Wärmeträgermedium in einen ein Arbeitsgas enthaltenden Zylinderraum eingespritzt oder eingesprüht wird, um einen im Zylinder verschiebbaren Kolben zu bewegen, wobei weiter die Kolbenbewegung über als elektrische Generatoren wirkende Piezoblöcke in elektrischen Strom umgesetzt wird, die um einen Kolbenmantel des Kolbens herum feststehend angeordnet sind und mit dem Kolbenmantel zusammenwirken, und wobei das Wärmeträgermedium anschließend wieder aus dem Zylinderraum abgeführt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass flüssiges und/oder gasförmiges Wärmeträgermedium in den Zylinderraum eingeleitet wird, und dass das Arbeitsgas nach dem Arbeitszyklus rückgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Rückkühlung des Arbeitsgases bis weit unterhalb des Gefrierpunkts erfolgt.

3. Wärmekraftmaschine zur Erzeugung elektrischer Energie aus Wärme auf relativ niedrigem Ausgangstemperaturniveau,

mit einem vorwiegend liegend angeordneten Arbeitszylinder (4) und einem darin verschiebbaren Arbeitskolben (7), dessen eine ausreichende Länge aufweisender Kolbenmantel (11) mit seiner Außenfläche mit einer Anzahl von kranzartig ange-

ordneten, als elektrische Generatoren wirkenden Piezoblöcken (13) zusammenwirkt, um die Kolbenbewegung in elektrischen Strom umzusetzen, und mit Mitteln (6, 9, 10, 15, 16, 17, 21, 22) zum Einleiten eines Wärmeträgermediums in eine Arbeitszylinderkammer, in welcher sich ein Arbeitsgas befindet, um den Arbeitskolben anzutreiben, sowie mit Mitteln (40, 42) zum Abführen von verbrauchtem Wärmeträgermedium aus dem Arbeitszylinderraum,

dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Einleiten des Wärmeträgermediums Mittel (10, 15, 16, 17) zum Einspritzen eines flüssigen Wärmeträgermediums und/oder Mittel (6, 21, 22) zum Einleiten eines gasförmigen Wärmeträgermediums in den Arbeitszylinderraum umfassen, und dass Mittel (27, 29, 31, 32) zum Rückkühlen des Arbeitsgases nach dem Arbeitszyklus vorgesehen sind.

4. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 3, wobei die Wärmekraftmaschine innerhalb eines gut wärmeisolierten Mantels (1) angeordnet ist.

5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 3 oder 4, wobei der Arbeitskolben (7) doppeltwirkend ist und das Wärmeträgermedium abwechselnd in den einen und in den anderen von zwei beiderseits des Arbeitskolbens im Arbeitszylinder (4) angeordneten Zylinderräumen eingeleitet wird.

6. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei dem Arbeitskolben (7) ein damit starr verbundener Verdichtungskolben (6) zugeordnet ist, der in einem Verdichtungszylinder (3) verschiebbar ist, um gasförmiges Wärmeträgermedium vor der Einleitung in die Arbeitszylinderkammer zu verdichten.

7. Wärmekraftmaschine nach den Ansprüchen 5 und 6, wobei der Verdichtungskolben (6) doppeltwirkend ist und der Verdichtungszylinder (3) beiderseits des Verdichterkolbens (6) jeweils einen Zylinderraum aufweist, der im Bereich seiner axialen Stirnwände mit Einlaßöffnungen für gasförmiges Wärmeträgermedium aus einem den Verdichtungszylinder (3) umgebenden Raum versehen ist.

8. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 7, wobei der Verdichtungskolben (6) einen inneren Hohlraum aufweist, der über an beiden axialen Stirnseiten gebildeten Öff-

nungen mit den beiderseitigen Zylinderräumen des Verdichtungszylinders (3) und über ein den Verdichtungskolben (6) mit dem Kolben (7) verbindendes Verbindungsrohr (8) mit einem Kanal (22) zum Einleiten des gasförmigen Wärmeträgermediums in den Arbeitszylinder (4) verbunden ist, und wobei im Verdichtungskolben (6) eine Verschlußvorrichtung (21) vorgesehen ist, die jeweils die Öffnungen an der einen Stirnseite des Verdichtungskolbens (6) verschließt und die Öffnungen an der anderen Stirnseite freigibt.

9. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei der Arbeitszylinder (4) von einer Ummantelung (29, 30) umschlossen ist, die zwischen sich und dem Arbeitszylinder (4) einen diesen umgebenden Raum bildet, und wobei die beiderseits des Arbeitskolbens (7) befindlichen Zylinderkammern des Arbeitszylinders (4) über Öffnungen in oder nahe der Stirnwände (26) an den axialen Enden des Arbeitszylinders (4) mit dem den Arbeitszylinder (4) umgebenden Raum in Verbindung stehen, und wobei Verschlußmittel (27) vorgesehen sind, welche die Öffnungen im Bereich der Stirnwand (26) des jeweils mit Wärmeträgermedium beaufschlagten Zylinderraums verschließen und die Öffnungen im Bereich der Stirnwand (26) des jeweils nicht beaufschlagten Zylinderraums öffnen.

10. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 7 oder 9, wobei die Öffnungen jeweils in den Stirnwänden (19, 26) des Verdichtungszylinders (3) bzw. des Arbeitszylinders (4) gebildet sind und die Verschlußmittel (20, 27) als jeweils innenseitig an der jeweiligen Zylinderstirnwand angelenkte, zwischen einer Öffnungsstellung und einer Schließstellung schwenkbaren Klappen gebildet sind, die zu den Öffnungen der jeweiligen Zylinderstirnwand versetzt angeordnete Öffnungen haben.

11. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 9 oder 10, wobei in dem den Arbeitszylinder (4) umgebenden Raum Rekuperatoren (32) angeordnet sind und/oder die Ummantelung (29, 30) eine gut wärmeleitende Umfassungswand (29) aufweist.

12. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Ummantelung (29, 30) Öffnungen in den sie umgebenden Raum aufweist, die durch Verschlußmittel (31) verschlossen sind, die zur Entspannung von innerhalb der Ummantelung

(29, 30) befindlichem Gas jeweils kurzzeitig geöffnet werden können.

13. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 6 bis 12, wobei gasförmiges Wärmeträgermedium aus dem Verdichtungszylinder (3) durch die Verbindung zwischen dem Verdichtungskolben (6) und dem Arbeitskolben (7) hindurch in einen Hohlraum des Arbeitszylinders (7) gefördert wird und aus diesem über verschließbare Öffnungen im Arbeitskolben (7) am Beginn eines Kolbenhubs in den jeweiligen Zylinderraum des Arbeitszylinders freisetzbar ist.

14. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 13, wobei innerhalb des hohlen Arbeitskolbens (7) ein Schiebekörper (25) zwischen zwei axialen Endstellungen verschiebbar ist, um jeweils auf der einen oder der anderen axialen Seite des Arbeitskolbens (7) eine Kammer zu bilden, in welche verdichtetes gasförmiges Wärmeträgermedium einleitbar ist, um dann in den auf der entsprechenden Seite des Arbeitskolbens befindlichen Zylinderraum des Arbeitszylinders (4) freigesetzt zu werden.

15. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 14, wobei flüssiges Wärmeträgermedium in eine innerhalb des Arbeitskolbens (7) befindliche Kammer (16) eingeleitet wird, innerhalb derer sich ein feststehendes, eine axiale Begrenzung dieser Kammer (16) bildendes Element (15) befindet, so dass die Kolbenverschiebung eine volumenmäßige Verringerung der Kammer (16) bewirkt, um das flüssige Wärmeträgermedium durch Düsen (17) in den jeweiligen Zylinderraum des Arbeitszylinders einzuspritzen.

Fig. 1

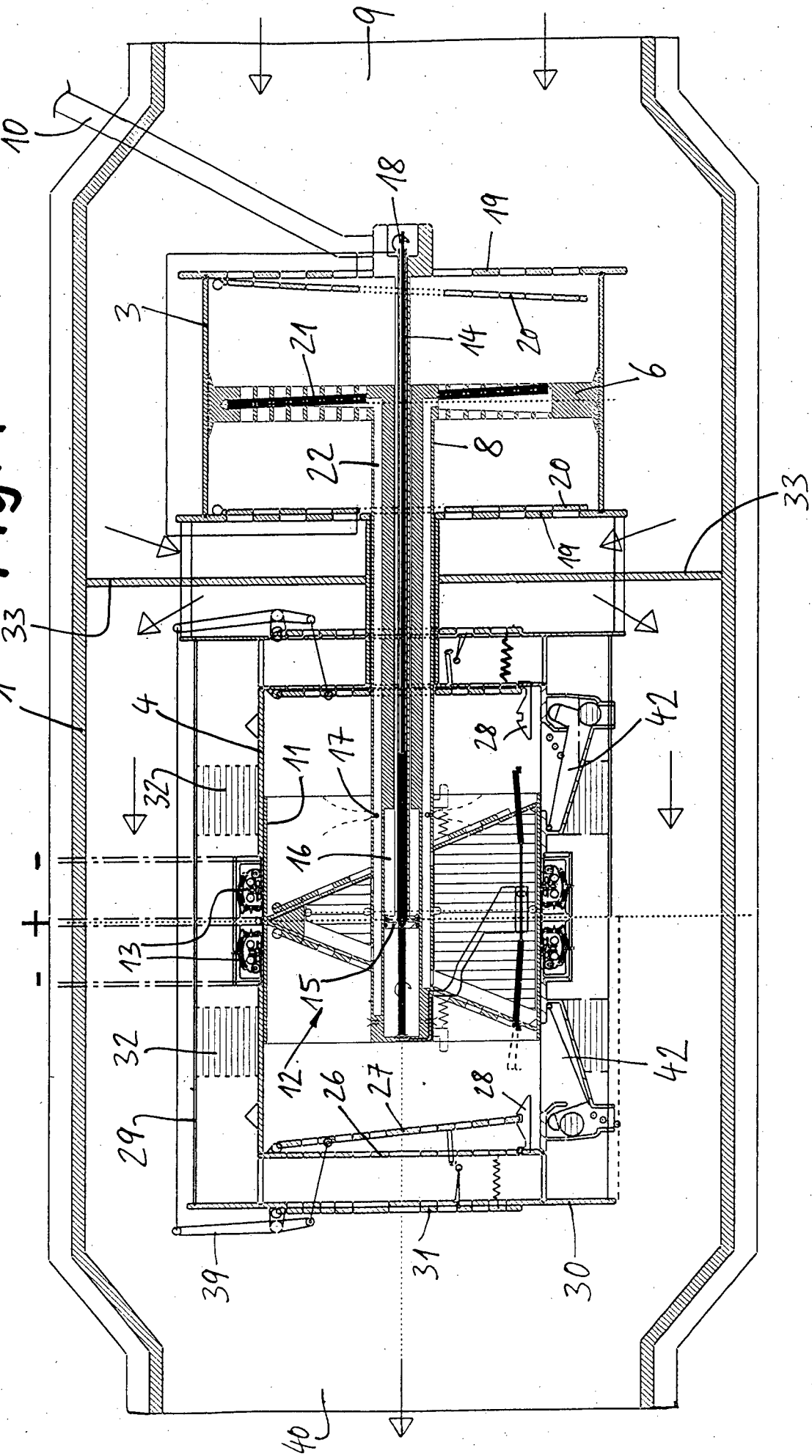

9
10
18
19
3
14
20
21
6
8
22
20
19
33
33
1
4
11
17
32
28
42
16
13
15
12
26
27
28
32
29
42
39
31
30
40

Fig. 2

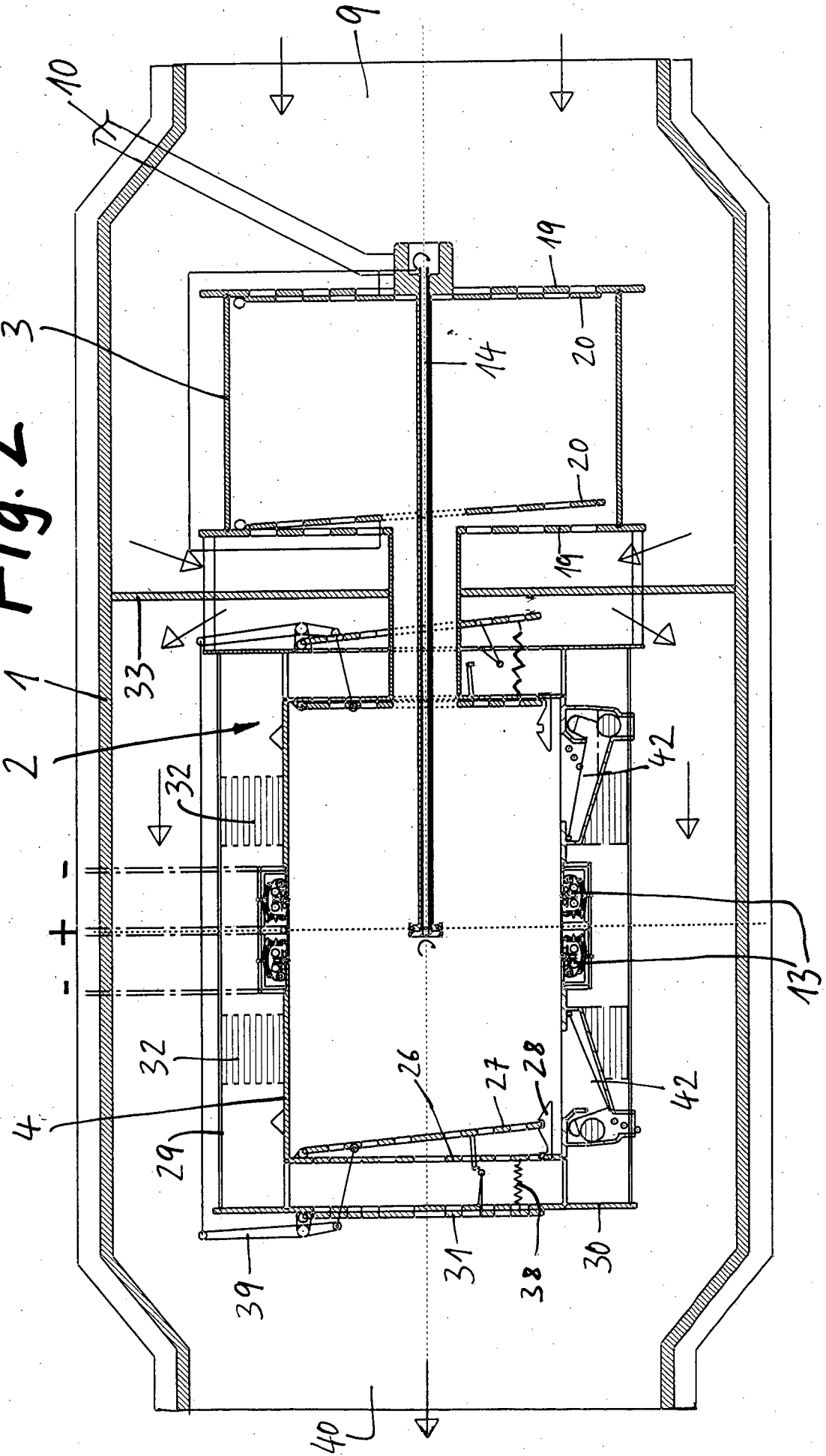


Fig. 3

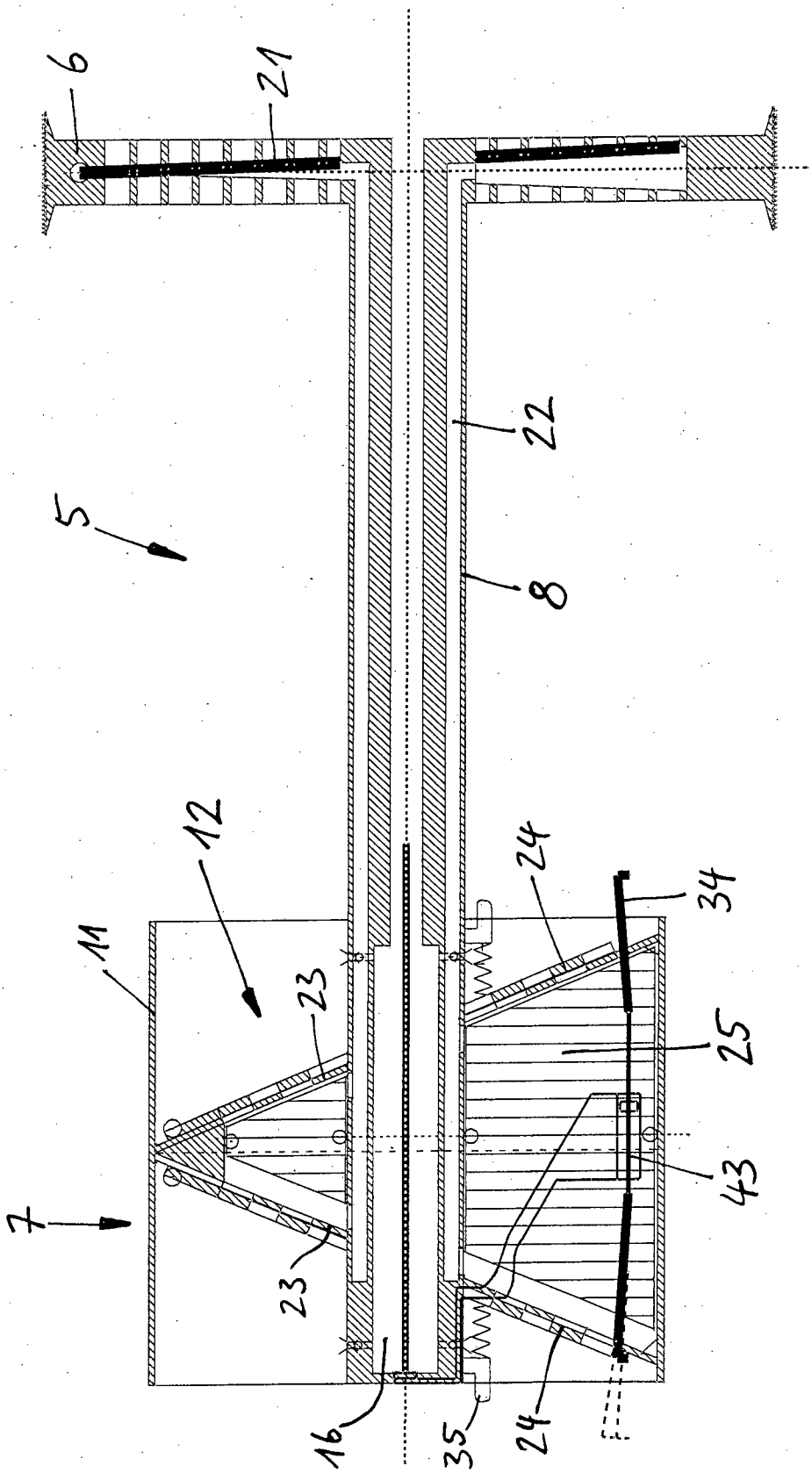


Fig. 4

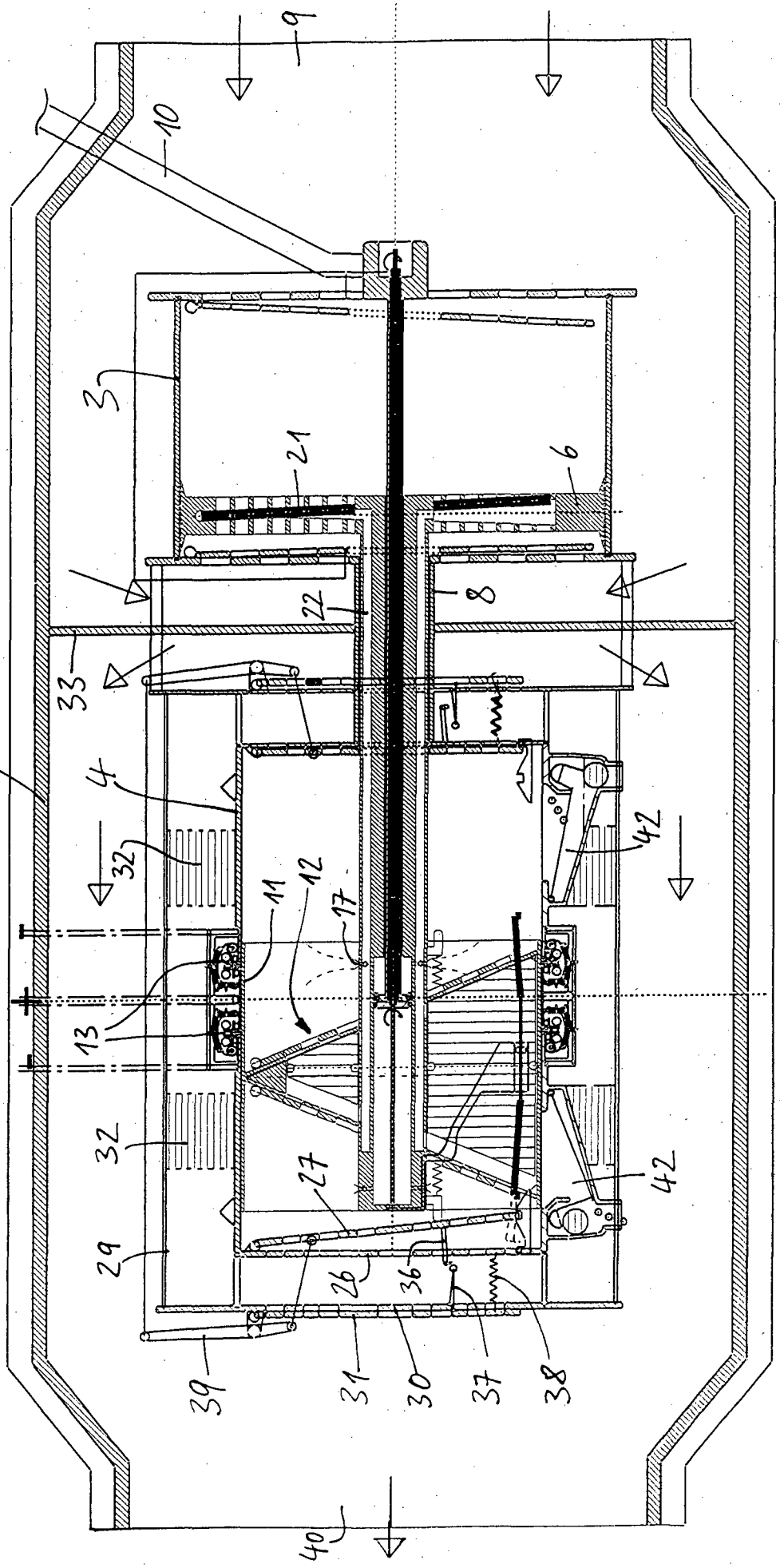

9
10
37
21
6
8
22
33
1
4
32
42
11
12
17
13
32
27
42
29
26
36
39
31
30
37
38
40

Fig.5

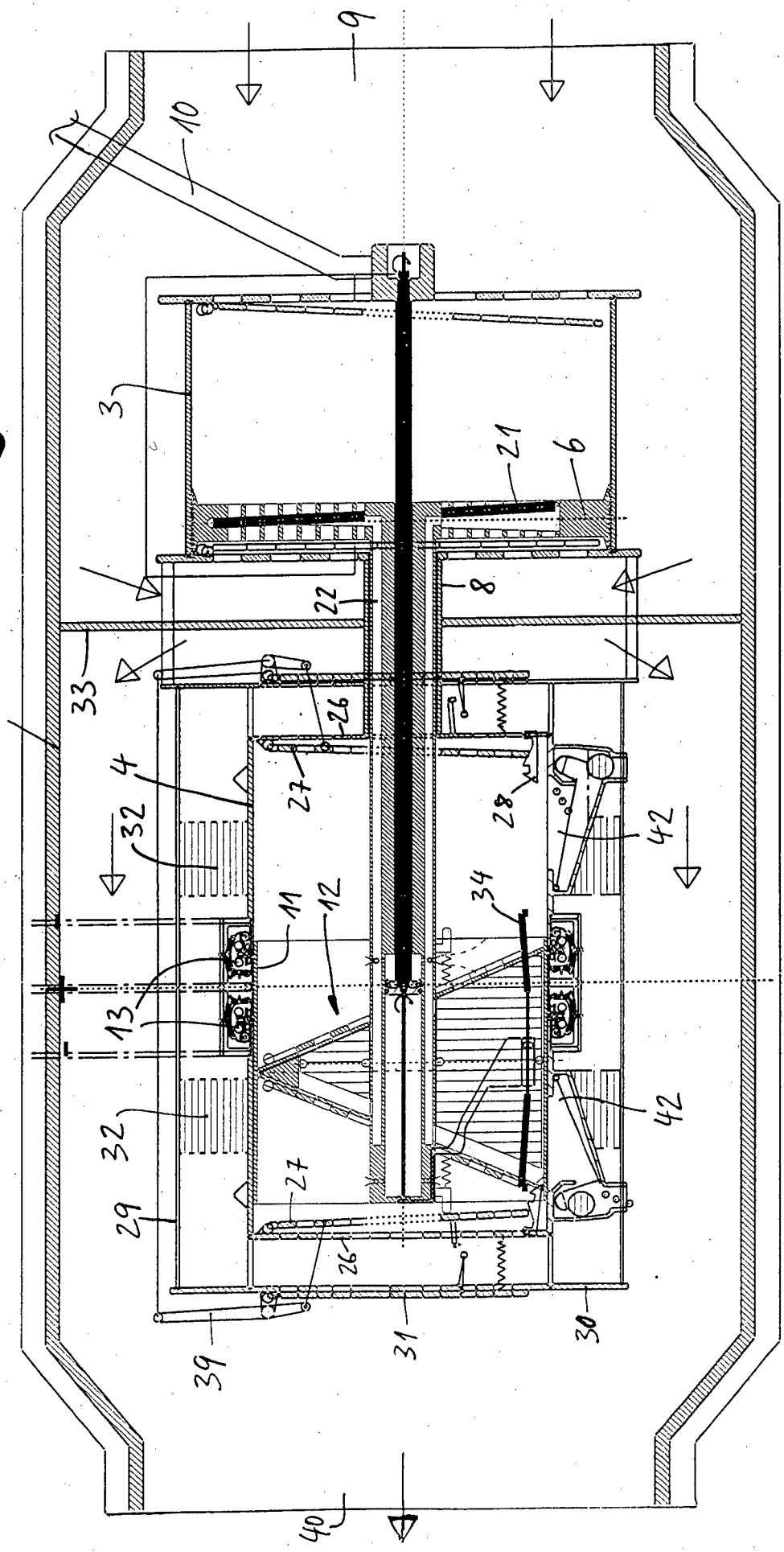

9
10
2
3
21
6
8
22
33
26
27
4
32
28
42
11
12
34
13
32
42
29
27
26
39
31
30
40

Fig. 6

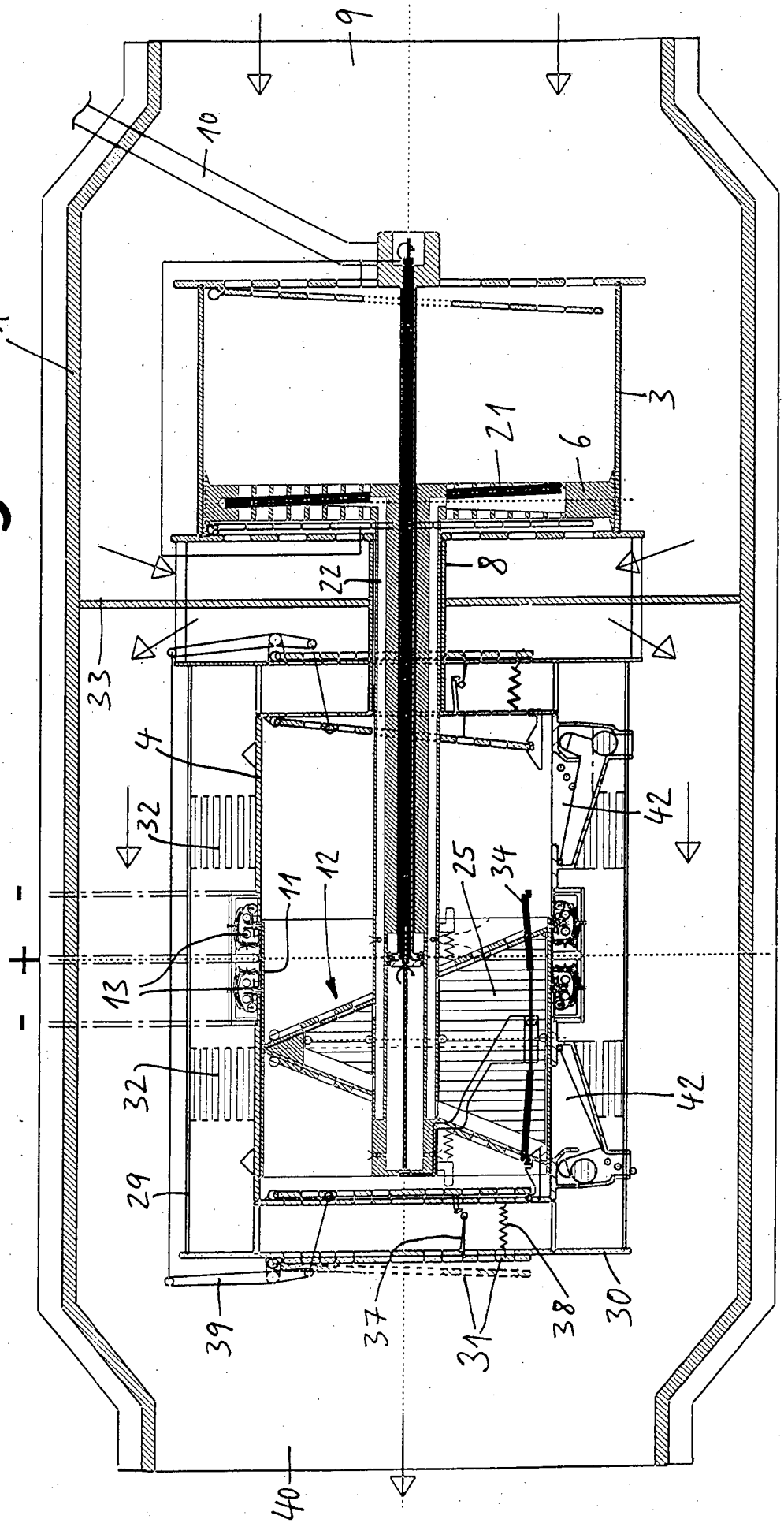


Fig. 7

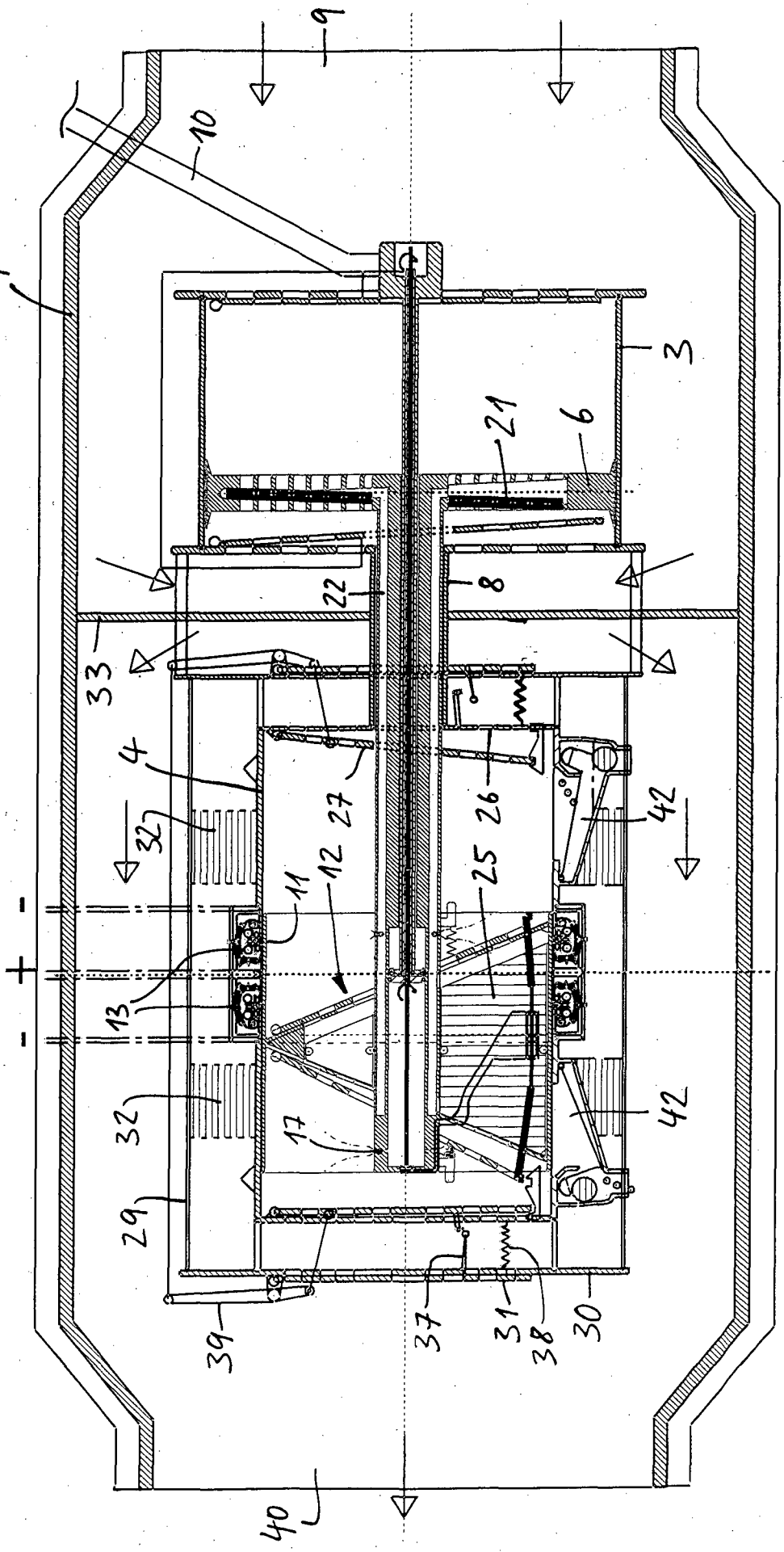


Fig.8

