



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.12.2023 Patentblatt 2023/50

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01K 25/06^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23177515.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01K 25/065

(22) Anmeldetag: **06.06.2023**

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

(72) Erfinder:
• **Braasch, Christian**
56075 Koblenz (DE)
• **Nieratschker, Willi**
56072 Koblenz (DE)
• **Nadler, Marc**
56170 Bendorf (DE)
• **Nett, Diana**
53498 Gönnersdorf (DE)

(30) Priorität: **10.06.2022 DE 102022114719**

(71) Anmelder: **Hochschule Koblenz**
56075 Koblenz (DE)

(74) Vertreter: **Lohmanns Lohmanns & Partner mbB**
Benrather Schlossallee 49-53
40597 Düsseldorf (DE)

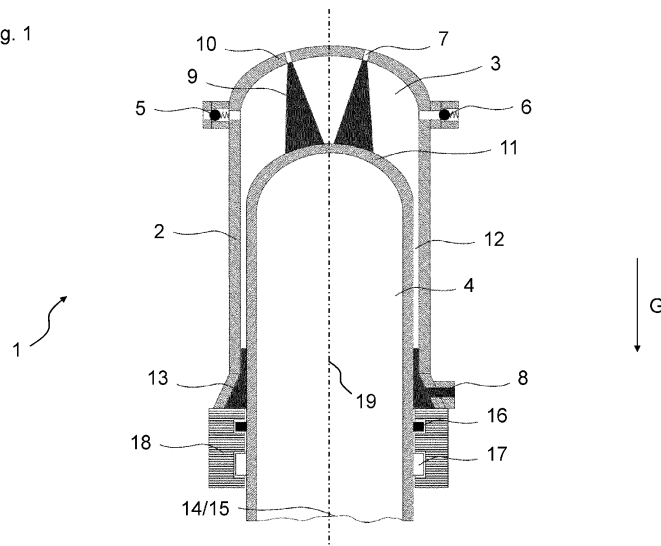
(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR UMSETZUNG QUASI-ISOTHERMER ZUSTANDSÄNDERUNGEN IN WÄRMEKRAFT ODER ARBEITSMASCHINENPROZESSEN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1, 20, 25) zur Umsetzung quasiisothermer Zustandsänderungen in Wärmekraft- oder Arbeitsmaschinenprozessen, aufweisend einen Zylinder (2), der einen Arbeitsraum (3) bereitstellt, einen in dem Arbeitsraum (3) verlagerbaren Kolben (4) zur Begrenzung eines im Arbeitsraum (3) veränderbaren Gasvolumens, wobei der Zylinder (2) wenigstens eine Zugangsöffnung (5, 6, 21) zum Einbringen und/oder Ausbringen von Arbeitsgas in den bzw. aus dem Arbeitsraum (3), wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) zum Einspritzen eines Wärmeträgers

(9) in den Arbeitsraum (3) und wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) zum Ausbringen des Wärmeträgers (9) aus dem Arbeitsraum (3) aufweist, wobei die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) und die Zugangsöffnung (6, 21) zum Ausbringen des Arbeitsgases separate Öffnungen sind.

Die Erfindung betrifft ferner ein entsprechendes Verfahren zur Umsetzung quasiisothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen, d. h. von quasi-isothermer Verdichtung bzw. Expansion, in Wärmekraft- oder Arbeitsmaschinenprozessen.

[0002] Die isotherme Verdichtung stellt für alle Verdichterarten die theoretische sparsamste Möglichkeit dar, Gase zu verdichten. Eine solche isotherme Verdichtung wird in der Praxis jedoch bei weitem nicht erreicht, da für eine solche Zustandsänderung schon während der Verdichtung rasch so viel Wärme abgeführt werden muss, wie Verdichtungsarbeit zugeführt wird. Zur Energieeinsparung und zur Vermeidung hoher Drucklufttemperaturen arbeitet man daher bisher mit mehreren Verdichterstufen und Zwischenkühlung zwischen den Verdichterstufen bei hohen Druckverhältnissen oder beschränkt sich auf passive Luftkühlung durch Kühlrippen bei Kleingeräten. Die aufzuwendende technische Arbeit ist bei allen bisher bekannten Ausführungsformen und Kühlungsvarianten 15 % bis 30 % höher als sie bei isothermer Verdichtung wäre.

[0003] Analog zu Verdichtungsprozessen gilt das Gleiche mit umgekehrten Vorzeichen für die isotherme Expansion. Beispiele hierfür sind der theoretisch beste Kreisprozess, der Carnot-Prozess, sowie der bekannte Stirling-Prozess, die beide als ideale Vergleichsprozesse zwei Isothermen beinhalten, welche aber bisher sehr unzureichend in der Realität umgesetzt werden können. Zur Realisierung der isothermen Expansion muss analog zum Verdichter beim Expandieren nun Wärme zugeführt werden, und zwar bereits während des Expansionsvorgangs genauso viel Wärme, wie das Gas technische Arbeit abgibt.

[0004] Es ist bisher nur sehr unzureichend gelungen, dem Gas rasch und effizient Wärme zu entziehen (Kompression) oder Wärme zuzuführen (Expansion), da zur Wärmeübertragung Wärmewiderstände zu überwinden sind. Der Wärmedurchgang durch Zylinderwände sowie insbesondere die Wärmeübergänge von Gasen an Wänden oder die begrenzte Temperaturleitfähigkeit der Gase selbst verunmöglichen einen raschen und ausreichend hohen Wärmeaustausch oder Wärmeeintrag.

[0005] Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Kreisprozessen wie Wärmekraft- oder Arbeitsmaschinenprozesse bereitzustellen. Es soll eine Wärmeübertragung auf ein zu verdichtendes oder zu expandierendes Arbeitsgas derart verbessert werden, dass das Arbeitsgas während des Kreisprozesses im Wesentlichen auf seinem Anfangstemperaturniveau gehalten wird, das heißt das Gas (quasi-)isotherm zu verdichten bzw. (quasi-)isotherm zu expandieren. Hierbei sollen die isotherme Verdichtung bzw. Expansion energieeffizient ausführbar sein und ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden. Zudem soll die Vorrichtung einen kom-

pakten Aufbau aufweisen und das Verfahren möglichst einfach zu implementieren sein.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung offenbaren die jeweiligen Unteransprüche.

[0007] Es ist darauf hinzuweisen, dass die in den Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale in beliebiger, technisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können und weitere Ausgestaltungen der Erfindung aufzeigen. Die Beschreibung charakterisiert und spezifiziert die Erfindung insbesondere im Zusammenhang mit den Figuren zusätzlich.

[0008] Es sei ferner angemerkt, dass eine hierin nachstehend verwendete, zwischen zwei Merkmalen stehende und diese miteinander verknüpfende Konjunktion "und/oder" stets so auszulegen ist, dass in einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Gegenstands lediglich das erste Merkmal vorhanden sein kann, in einer zweiten Ausgestaltung lediglich das zweite Merkmal vorhanden sein kann und in einer dritten Ausgestaltung sowohl das erste als auch das zweite Merkmal vorhanden sein können.

[0009] Ein hierin verwendeter Begriff "etwa" gibt einen Toleranzbereich an, den der auf dem vorliegenden Gebiet tätige Fachmann als üblich ansieht. Insbesondere ist unter dem Begriff "etwa" ein Toleranzbereich der bezogenen Größe von bis maximal $\pm 20\%$, bevorzugt bis maximal $\pm 10\%$ zu verstehen.

[0010] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Umsetzung von quasi-isothermen Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen, allgemein in einem thermodynamischen Kreisprozess, weist einen Zylinder auf, der einen Arbeitsraum bereitstellt, weiter einen in dem Arbeitsraum verlagerbaren Kolben (hierin auch als Arbeitskolben bezeichnet) zur Begrenzung eines im Arbeitsraum veränderbaren Gasvolumens, wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung zum Einspritzen eines Wärmeträgers in den Arbeitsraum und wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung zum Ausbringen des Wärmeträgers aus dem Arbeitsraum. Der Zylinder weist außerdem wenigstens eine Zugangsöffnung zum Einbringen und/oder Ausbringen von Arbeitsgas in den bzw. aus dem Arbeitsraum auf. Es ist möglich, lediglich eine Zugangsöffnung vorzusehen, durch welche das Arbeitsgas sowohl in den Arbeitsraum eingebracht als auch wieder aus diesem ausgebracht werden kann. Separate Zugangsöffnungen, von denen wenigstens eine lediglich als Einströmöffnung für das Arbeitsgas in den Arbeitsraum und wenigstens eine andere Zugangsöffnung lediglich als Ausströmöffnung für das Arbeitsgas aus dem Arbeitsraum dienen, sind ebenfalls denkbar.

[0011] Erfindungsgemäß sind die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung und wenigstens die Zugangsöffnung zum Ausbringen des Arbeitsgases aus dem Arbeitsraum separate Öffnungen.

[0012] Eine Vorrichtung, die einen Wärmekraftprozess umsetzt, kann auch als Wärmekraftmaschine bezeichnet werden. Eine Wärmekraftmaschine ist eine Maschine, die Wärme in mechanische Energie (Arbeit) umwandelt. Sie nutzt dabei das Bestreben der Wärme aus, von Gebieten mit höheren zu solchen mit niedrigeren Temperaturen zu fließen.

[0013] Eine Vorrichtung, die einen Kraftwärmeprozess umsetzt, kann als Arbeitsmaschine, Wärmepumpe oder Kältemaschine bezeichnet werden. Eine solche Vorrichtung transportiert unter Einsatz mechanischer Energie Wärmeenergie von einem niedrigeren Temperaturniveau auf ein höheres.

[0014] Wärmekraftmaschinen nutzen "rechtslaufende" Kreisprozesse, bei denen die geschlossene Kurve etwa im T-s-Diagramm oder p-v-Diagramm im Sinne "oben nach rechts, unten nach links" durchlaufen wird. Wärmepumpen nutzen "linkslaufende" Kreisprozesse. Zur Beurteilung der Effizienz von Kreisprozessen dienen die idealen Vergleichsprozesse. Die theoretische Grundlage dieser Prozesse bildet die thermische Zustandsgleichung idealer Gase mit den drei Gaszustandsgrößen Druck, Temperatur, Volumen und der universellen Gaskonstante.

[0015] Wenn hierin allgemein von Kreisprozessen die Rede ist, sind gleichberechtigt sowohl rechtslaufende als auch linkslaufende Kreisprozesse gemeint, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes bestimmt ist.

[0016] Die erfindungsgemäße Vorrichtung erzielt eine deutlich verbesserte Umsetzung von quasi-isothermen Zustandsänderungen im Allgemeinen und im Speziellen bei Verwendung in Kreisprozessen mit isothermen Zustandsänderungen, bei Verdichtern/Kompressoren, bei Expandern und beim Laden und Entladen von Druckluftspeichern oder Speichern nach gleichem Funktionsprinzip, aber anderen Gasarten. Da die Verdichtung und die Expansion bisher i. d. R. quasi-adiabat oder polytrop ggf. mit Zwischenkühlung ablaufen, kann mit einer Annäherung an die Isotherme der Wirkungsgrad der Kreisprozesse deutlich gesteigert werden. Bei Verdichtern wird die zuzuführende mechanische Arbeit reduziert und beim Expander, z. B. Entladen von Druckspeichern, wird die abgegebene Arbeit erhöht.

[0017] Der Wärmeträger nimmt während einer Kompression des Arbeitsgases Wärme aus dem Gas auf und gibt während einer Expansion des Arbeitsgases Wärme an dieses ab.

[0018] Als bevorzugte Wärmeträger werden im Sinne der Erfindung insbesondere Flüssigkeiten angesehen, die eine hohe Wärmekapazität aufweisen, nicht oder nur wenig korrosiv wirken, eine schlechte Löslichkeit in Gasen aufweisen und/oder dass das Gas sich schlecht im flüssigen Wärmeträger löst, deren Viskosität für eine Einspritzung im Sinne der Erfindung entsprechend geeignet ist, und die bis zu einer Temperatur von etwa 220 °C thermisch stabil sind. Als Wärmeträger sind Wasser, Öle, insbesondere dünnflüssige Öle, und ionische Flüssigkeiten mit den gewünschten Eigenschaften besonders be-

vorzugt. Ferner können in vorteilhafter Weise solche Flüssigkeiten gewählt werden, die einen Dampfdruck aufweisen, der klein ist im Vergleich zum Minimaldruck im Arbeitsraum (d. h. Verdichtungs- oder Expansionsraum). Derartige Wärmeträger weisen außerdem einen großen Dichteunterschied zum Arbeitsgas auf, der infolge von Schwerkrafteinwirkung auf natürliche Weise für eine leichte Trennung vom Arbeitsgas sorgt, so dass der Wärmeträger gezielt an einer vorbestimmten Stelle im Arbeitsraum bzw. Zylinder gesammelt (z. B. in einem Wärmeträgersumpf) werden kann, insbesondere in der Nähe bzw. an der Wärmeträgerauslassöffnung (z. B. am Boden).

[0019] Es ist zu verstehen, dass der Wärmeträger zur Erzielung der beschriebenen, erfindungsgemäßen Wirkung im Wesentlichen zeitgleich während eines Verdichtungs- oder Expansionshubs des Kolbens über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung in den Arbeitsraum eingespritzt wird. Menge und Tropfengröße des Wärmeträgers können hierzu geeignet vorbestimmt oder während des Betriebs gesteuert werden. Die Druckverhältnisse im Arbeitsraum sowie die Materialeigenschaften des Wärmeträgers sind so gewählt, dass der Wärmeträger im Arbeitsraum wie erläutert nicht verdampft.

[0020] Insbesondere verteilt sich der Wärmeträger, der in einem oder mehreren Sprühstrahlen, d. h. jeweils beispielsweise im Wesentlichen in Form von einzelnen, gezielt gerichteten Sprühkegeln oder brauseförmig nach Art einer Dusche, bei welcher der Wärmeträger durch eine Vielzahl an kleinen Öffnungen nach unten auf den Kolben gerichtet in etwa als Vollstrahl in den Arbeitsraum eingespritzt und durch den Arbeitsraum gesprüht wird, im Wesentlichen im gesamten Gasvolumen und hält aufgrund der hohen Wärmekapazität der Tropfen im Vergleich zur kleineren Wärmekapazität des Arbeitsgases und aufgrund der großen Übertragungsfläche der Tröpfchen die Gastemperatur des Arbeitsgases auf bzw. nahe dem Temperaturniveau des Wärmeträgers. Es ist zu verstehen, dass der Begriff *Temperaturniveau* eine gewisse Temperaturdifferenz zwischen Arbeitsgas und Wärmeträger einschließt, da eine solche Differenz - ggfs. auch nur eine sehr kleine - physikalisch/technisch stets gegeben ist.

[0021] Die Wärmeträgereinspritzöffnung kann düsenförmig ausgebildet sein, um den Wärmeträger in Form eines geeigneten Sprühkegels in den Arbeitsraum einzuspritzen. Vorteilhafterweise kann eine solche düsenartige Öffnung in einer Zylinderwandung, z. B. in einem Zylinderkopf, versenkt aufgenommen sein, um einen Totraum im Zylinder (beispielsweise im Bereich des Zylinderkopfs) zu minimieren.

[0022] Nach der Verdichtung oder Expansion wird das Arbeitsgas über die wenigstens eine Zugangsöffnung aus dem Arbeitsraum ausgeschoben (z. B. Stirlingmotor). Nachdem der Wärmeträger Wärme an das Arbeitsgas übertragen hat, wird dem Wärmeträger entsprechend Wärme über einen Wärmeübertrager zu- oder ab-

geführt. Diese Wärmeübertragung findet außerhalb des Zylinders statt.

[0023] Ein besonderer Vorteil der Einspritzung des flüssigen Wärmeträgers ist in einer effizienten Wärmeübertragung von den Tropfen auf das zu verdichtende/expandierende Arbeitsgas zu sehen. D. h., das Arbeitsgas kann in sehr kurzer Zeit (z. B. etwa 0,2 s oder schneller) durch Eindüsen eines kalten Wärmeträgers kalt gehalten werden (Verdichter) oder umgekehrt erwärmt werden (Expansion, z. B. Stirlingmotor). Bei einer Kombination der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Stirlingmotor lassen sich nun praktikable, insbesondere deutlich höhere, Drehzahlen erreichen.

[0024] Erfindungsgemäß ist die Wärmeträgerauslassöffnung für den Wärmeträger klar von zumindest der Zugangsöffnung zum Ausbringen des Arbeitsgases getrennt. Ebenso kann die Wärmeträgerauslassöffnung sowohl von der Zugangsöffnung zum Ausbringen als auch von der Zugangsöffnung zum Einbringen des Arbeitsgases getrennt vorgesehen sein kann, wobei die Zugangsöffnung lediglich eine einzige Öffnung zum Ein- und Ausbringen des Arbeitsgases sein kann oder mehrere dedizierte Zugangsöffnungen vorgesehen sein können.

[0025] Die Wärmeträgerauslassöffnung ist gemäß der Erfindung getrennt von wenigstens der Zugangsöffnung zum Ausbringen des Arbeitsgases aus dem Arbeitsraum vorgesehen. Die Trennung des Arbeitsgases vom Wärmeträger findet vorzugsweise im Wesentlichen bereits im Zylinder/Arbeitsraum statt. Da das Arbeitsgas und der Wärmeträger erfindungsgemäß nicht aus derselben Öffnung aus dem Zylinder austreten, kann auf eine ansonsten übliche Wärmeträgerabscheidung außerhalb des Zylinders verzichtet werden bzw. diese sehr viel kleiner dimensioniert werden, um die Restflüssigkeit abzuscheiden, sofern eine externe Wärmeträgerabscheidung dennoch vorgesehen sein soll, was insgesamt einen vereinfachten, kompakten Aufbau ermöglicht und die Herstellungskosten verringert.

[0026] Weiterhin kann die Wärmeträgerauslassöffnung auch in einem vorgegebenen Mindestabstand zur Zugangsöffnung zum Ausbringen und ggfs. zum Einbringen des Arbeitsgases in den Arbeitsraum befinden, das heißt, nicht in (unmittelbarer) Nähe/Nachbarschaft zur Zugangsöffnung angeordnet sein. Die mögliche Distanzierung der jeweiligen Auslassöffnungen gewährleistet zusätzlich eine möglichst vollständige Trennung des Wärmeträgers vom Arbeitsgas.

[0027] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders in Schwererichtung (d. h. in Richtung der Erdbeschleunigung bzw. Schwerkraft) unterhalb der wenigstens einen Wärmeträgereinspritzöffnung angeordnet. Der eingespritzte Wärmeträger, d. h. die Flüssigkeitstropfen, sammelt sich aufgrund der wirkenden Schwerkraft im Bereich der Wärmeträgerauslassöffnung, so dass der Wärmeträger gesteuert/gezielt aus dem Arbeitsraum abgesaugt bzw. abgepumpt werden kann, au-

ßerhalb des Arbeitsraums gekühlt bzw. erwärmt wird und anschließend zur erneuten Einspritzung zur Verfügung gestellt wird. Auf diese Weise wird ein effizienter Wärmeträgerkreislauf sichergestellt. Außerdem ermöglicht die gegenüber der Wärmeträgerauslassöffnung oberhalb angeordnete Wärmeträgereinspritzöffnung eine gezielte Einspritzung des Wärmeträgers in den gesamten Arbeitsraum, um innerhalb des gesamten Gasvolumens effizient Wärme an das Arbeitsgas abzugeben, das heißt sicherzustellen, dass das Arbeitsgas möglichst konstant auf seinem Ausgangstemperaturniveau verbleibt.

[0028] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders in Schwererichtung (d. h. in Richtung der Erdbeschleunigung bzw. Schwerkraft) in einem oberen Endabschnitt des Arbeitsraums angeordnet ist. Der Zylinder kann einen Zylinderkopf aufweisen, der diesen Endabschnitt des Arbeitsraums begrenzt. Der obere Endabschnitt des Arbeitsraums kann entsprechend in der Nähe bzw. benachbart zu einem Zylinderkopf angeordnet sein. Die Wärmeträgereinspritzöffnung kann in dem Zylinderkopf angeordnet sein. Mit anderen Worten wird der Wärmeträger von oben in den Arbeitsraum eingespritzt, trifft auf den Kolben und/oder eine Zylinderwandung und wird anschließend infolge der Schwerkraft in Richtung Wärmeträgerauslassöffnung gelenkt. Diese Anordnung der Wärmeträgereinspritzöffnung ermöglicht, einen Totraum im Zylinder zu minimieren, indem die Wärmeträgereinspritzöffnung jedenfalls oberhalb des oberen Totpunkts des Kolbens im Zylinder angeordnet ist, so dass für eine optimale isotherme Verdichtung oder Expansion eine kontinuierliche, effiziente Wärmeübertragung vom Wärmeträger auf das Arbeitsgas sichergestellt ist.

[0029] Gemäß einer noch weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Erfindungsgegenstands ist eine Kopffläche des Kolbens geneigt in Bezug auf eine Kolbenlängsachse, kegelig oder gewölbt, bevorzugt klöpperförmig gewölbt, ausgebildet. Die Kopffläche des Kolbens ist diejenige Kolbenfläche, die das Gasvolumen im Arbeitsraum kolbenseitig begrenzt. Als gewölbte Fläche kann zum Beispiel eine abgeflachte "Halbkugelform" verstanden werden.

[0030] Bei einem gegebenen Außendurchmesser der Kolbenkopffläche und einem gegebenen Krümmungsradius der Kolbenkopffläche in Kolbenmitte weist die Klöpperform einen besonders stark gekrümmten Rand auf, dessen Krümmungsradius nur etwa 10 % des Außendurchmessers aufweisen kann.

[0031] Die schräge, kegelige oder gewölbte Kolbenform verhindern einerseits wirkungsvoll ein ungewolltes Ansammeln des Wärmeträgers auf der Kolbenoberseite bzw. Kolbenkopffläche und begünstigt andererseits bei Aufprall des Wärmeträgers eine Umlenkung in Richtung der Wärmeträgerauslassöffnung oder eines stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung wahlweise vorgesehenen Flüssigkeitssumpfes. Die schräge Form der Kopffläche

ermöglicht zudem auch in der Nähe des oberen Kolbentotpunkts optimale Einspritzlängen des Wärmeträgers, um auch in dieser Kolbenposition eine effektive Wärmeübertragung vom Wärmeträger auf das Arbeitsgas sicherzustellen. Die Einspritzung des Wärmeträgers kann hierzu im Wesentlichen parallel zur schrägen Kolbenkopffläche in den Arbeitsraum erfolgen.

[0032] Es versteht sich, dass der Zylinder oder ein Zylinderkopf an die jeweilige Kolbenform (d. h. schräg, kegelig, gewölbt und dergleichen) angepasst ist, um das Totvolumen möglichst klein zu halten.

[0033] Gemäß einer noch weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Kolben als Tauchkolbenzylinder (auch als Plunger bezeichnet) ausgebildet. Tauchkolbenzylinder, Plunger, Verdrängerkolben oder Plungerzylinder besitzen keinen eigentlichen Kolben, sondern die Kolbenstange dient selbst als Kolben. Hierbei gleitet der Plunger in einer Dichtung und Gleitführung, die feststehend am Zylinder angebracht sind. Plunger müssen zwar axial geführt werden, weisen jedoch einen günstigeren mechanischen Wirkungsgrad auf. Mit dem Tauchkolbenzylinder kann mittels eines hydraulischen Antriebs auch eine diskontinuierliche Kolbensteuerung verwirklicht werden.

[0034] Alternativ zum hydraulischen Antrieb eines Tauchkolbenzylinders kann ein anderer Kolben einen mechanischen Antrieb mit Pleuel und Pleueltrieb aufweisen.

[0035] Die am Zylinder feststehend angebrachte Dichtung (anstelle einer sich entlang der Zylinderwandung mit dem Kolben mitbewegenden Kolbendichtung bei einem herkömmlichen Kolben) hat u. a. den Vorteil, dass die Vorrichtung in jeder Plungerstellung nach außen abgedichtet ist, und weiter, dass zu jeder Zeit eine fluidleitende Verbindung zwischen der Wärmeträgereinspritzöffnung und der Wärmeträgerauslassöffnung gegeben ist. Hierdurch kann zur Erzielung einer optimalen isothermen Verdichtung oder Expansion eine kontinuierliche, effiziente Wärmeübertragung zwischen dem Wärmeträger und dem Arbeitsgas sichergestellt werden. Zudem ermöglicht die gleichzeitige und kontinuierliche Eindüsung sowie Entnahme des Wärmeträgers eine genaue Einstellung der im Zylinder- bzw. Arbeitsraum befindlichen Wärmeträgermenge, so dass Toträume im Vergleich zu herkömmlichen Kolbenmaschinen verringert werden können. Ferner können schädliche Druckspitzen im Arbeitsraum beim Ausschleusen des Wärmeträger-Arbeitsgas-Gemisches durch die dauerhafte fluidleitende Verbindung zwischen der Wärmeträgereinspritzöffnung und der Wärmeträgerauslassöffnung zuverlässig vermieden werden.

[0036] Darüber hinaus kann die Oberflächentemperatur der Zylinderinnenwand infolge eines verbesserten Wärmeübergangs bzw. Wärmeaustauschs an der Zylinderinnenwand durch den ständigen Kontakt mit nachströmendem Wärmeträger gesenkt werden. Außerdem entsteht durch die entfallende Kolbendichtung keine Reibungswärme an der Zylinderinnenwand. Dem-

entsprechend führt die Verwendung des Plungers zu geringeren Anforderungen und einer geringeren thermischen sowie mechanischen Belastung für die Zylinderinnenwandung, da der Plunger nicht in reibendem Kontakt mit dieser steht.

[0037] Weiterhin kann ein optimaler Abstand (d. h. Ringspalt) zwischen Plunger und Zylinderinnenwandung frei gewählt werden, um die Effizienz der Vorrichtung zu erhöhen oder die Geometrie des Ringspalts an die Viskosität des Wärmeträgers anzupassen. Beispielsweise müssen der Plunger und die Zylinderinnenwandung nicht zwingend konzentrisch ausgerichtet sein. Auch kann die Plungerform ermöglichen, einen Sumpfraum zum Sammeln des Wärmeträgers stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung hinsichtlich des Volumens und der Geometrie frei zu gestalten. Beispielsweise kann der Sumpfraum einen größeren Durchmesser oder eine andere Geometrie aufweisen als der Rest der Zylinderwandung. Auf diese Weise kann beispielsweise über die Sumpfhöhe bzw. den Füllstand des Wärmeträgers im Sumpfraum der Totraum im Sinne einer Minimierung positiv beeinflusst werden.

[0038] Die Verwendung des Plungers ermöglicht ebenfalls, in den Zugangsöffnungen für das Ein- und Ausbringen des Arbeitsgases gewöhnliche Rückschlagventile einzusetzen.

[0039] Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung des Erfindungsgegenstands ist ein Ringspalt stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung zwischen dem Kolben und einer Zylinderinnenwand des Zylinders zum Sammeln des Wärmeträgers vor dem Ausbringen aus dem Zylinder vorgesehen. Wie hierin dargelegt, findet innerhalb des Arbeitsraums bereits eine natürliche, schwerkraftunterstützte Trennung des eingespritzten Wärmeträgers vom Arbeitsgas statt. Die versprühten Flüssigkeitstropfen strömen bei der vorliegenden Ausgestaltung in dem Ringspalt nach unten, indem sie beispielsweise laminar an Wänden des Ringspalts entlangfließen, und sammeln sich vor der Wärmeträgerauslassöffnung zu einem Flüssigkeitssumpf, der gesteuert aus dem Arbeitsraum abgepumpt/abgesaugt werden kann. Der Ringspalt ist vorzugsweise derart klein bemessen, dass der Wärmeträger einerseits in ausreichender Menge hindurchströmen und zur Wärmeträgerauslassöffnung gelangen kann, andererseits jedoch das durch den Ringspalt gebildete Totvolumen möglichst klein bleibt. Besonders bevorzugt kann ein solcher Ringspalt einen Ringdurchmesser (d. h. radialer Durchmesser) von etwa 0,1 mm bis etwa 2 mm, bevorzugter zwischen 0,15 mm und 1,5 mm und weiterhin bevorzugt zwischen etwa 0,2 mm und 1,5 mm aufweisen. Hierbei können kleinere Ringdurchmesser aus den angegebenen Bereichen bei Verwendung dünnflüssigerer Wärmeträger und größere Ringdurchmesser innerhalb der angegebenen Bereiche bei Verwendung dickflüssigerer Wärmeträger gewählt werden. Die Höhe des Ringspalts kann so bemessen sein, dass sich ein Reservoir des Flüssigkeitssumpfes ausbilden kann, das wenigstens einen Teil des pro Zeit-

einheit eingespritzten Wärmeträgers temporär aufnehmen kann. Das Gesamtvolumen des Ringspalts wird bevorzugt stets auf ein Minimum begrenzt. Der Ringspalt ermöglicht sowohl einen kompakten Aufbau der Vorrichtung als auch einen kontinuierlichen, nicht abreißenden Wärmeträgeraustausch in bzw. aus dem Arbeitsraum.

[0040] Vorteilhafterweise ist nach einer weiteren Ausgestaltung in dem Ringspalt ein Demister angeordnet, um ggfs. zusätzlich auch geringste Mengen des Wärmeträgers vom Arbeitsgas zu trennen, die nach der schwerkraftunterstützten Trennung der überwiegenden Menge des Wärmeträgers noch im Arbeitsgas verblieben sein mögen. Mit dem Demister kann eine Verrieselungsstrecke im Ringspalt realisiert sein. Es kann von Vorteil sein, die Absenkgeschwindigkeit des Wärmeträgers durch die Verrieselung im Ringspalt zu reduzieren, da aufgrund der auftretenden Druckschwankungen im Arbeitsraum eine - wenn auch nur geringe - Gasaufnahme im Wärmeträger nicht gänzlich auszuschließen ist. Zum Abscheiden von Wärmeträgertropfen an den Gasaustrittsöffnungen des Zylinders kann ein Einsatz in Form einer Blende, eines Metallgitters o. ä. innerhalb des Zylinders/Zylinderkopfes angebracht sein.

[0041] Der Demister kann beispielsweise unter Verwendung eines porösen Stoffes oder als Drahtgestrickfilter ggfs. in Kombination mit einem oder mehreren außen anliegenden oder auch eingewobenen Metallgittern ausgebildet sein.

[0042] Zusätzlich zum Ringspalt kann gemäß einer noch weiteren Ausgestaltung ein Sumpfraum zum Sammeln des einlaufenden Wärmeträgers bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders in Schwererichtung (d. h. in Richtung der Erdbeschleunigung bzw. Schwerkraft) am unteren Ende des Ringspalts bereitgestellt sein. Der Sumpfraum kann sich vom Ringspalt durch eine größere radiale Weite (d. h. radialer Durchmesser) unterscheiden. Der Sumpfraum stellt einen freien Raum bzw. Sumpf bereit, in dem sich der eingebrachte Wärmeträger sammeln und ablagern kann, um u. a. Gasblasen abzuschneiden. Ferner kann der Füllstand des Sumpfs stets so gesteuert sein, dass zu keinem Zeitpunkt Arbeitsgas aus dem Zylinder über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung ausströmen kann. Hierzu kann die Wärmeträgerauslassöffnung zum Beispiel am unteren Rand des Sumpfraums angeordnet und angeschlossen sein, das heißt, der Wärmeträger kann aus dem Sumpfraum direkt über die Wärmeträgerauslassöffnung ausgebracht werden.

[0043] Zur weiteren Optimierung des gesteuerten Wärmeträgeraustauschs in und aus dem Arbeitsraum sieht eine noch weitere Ausgestaltung des Erfindungsgegenstands einen doppelwirkenden Pumpkolben vor, der eingerichtet ist, den Wärmeträger gleichzeitig sowohl über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung in den Arbeitsraum einzuspritzen als auch über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung aus dem Arbeitsraum auszubringen bzw. abzusaugen. Mit anderen Worten wird gleichzeitig beim Einspritzen des Wärme-

trägers ebensolcher in gleicher Menge wieder aus dem Arbeitsraum ausgebracht bzw. abgesaugt, wodurch das Gasvolumen des Arbeitsgases im Zylinder/Arbeitsraum in Bezug auf den Wärmeträgeraustausch konstant gehalten wird. Dadurch wird eine ungewünschte Kompression des Arbeitsgases beim Einspritzen des Wärmeträgers und eine ungewünschte Expansion des Arbeitsgases beim Ausbringen/Absaugung des Wärmeträgers verhindert und infolgedessen die Energieeffizienz bei der Umsetzung des Kreisprozesses erhöht. Das Flüssigkeitsvolumen des Wärmeträgers im Zylinder bleibt konstant, da zeitgleich mit dem Eindüsen dieselbe Menge an Flüssigkeit abgesaugt wird.

[0044] Dementsprechend können ein Sammelbehälter und ein Hochdruckbehälter für den Wärmeträger entfallen. Nur eine Verrohrung bzw. Verbindungsleitungen für die Durchleitung des Wärmeträgers sowie der doppelwirkende Pumpkolben müssen gefüllt sein, wodurch die Gesamtmenge des in der Vorrichtung benötigten Wärmeträgers deutlich reduziert wird.

[0045] Der Arbeitsaufwand für das Einspritzen des Wärmeträgers kann auf einen optimalen Wert reduziert werden, und der Wärmeträger kann effizient auf einen Einspritzdruck gebracht werden, bei dem ein thermischer Widerstand vom Wärmeträger auf das Arbeitsgas während des Einspritzvorgangs reduziert ist. Der Wärmeträger wird nicht unnötigerweise entspannt, z. B. bis auf Umgebungsdruck und später wieder auf einen hohen Einspritzdruck verdichtet, sondern es wird lediglich der Differenzdruck zwischen Wärmeträgerauslass und Einspritzdruck aufgebracht, was die energieeffizienteste Eindüsung des Wärmeträgers darstellt.

[0046] Durch den gleichzeitig stattfindenden Wärmeträgeraustausch im Zylinder wird ein gleichbleibender Wärmeträgerfüllstand beispielsweise in einem Wärmeträgersumpf und/oder in einem Ringspalt gewährleistet.

[0047] Zusätzlich zum doppelwirkenden Pumpkolben können an diesen zwei Rückschlagventile zur richtungsabhängigen Durchleitung des Wärmeträgers angeschlossen sein, so dass bei der Einspritzung des Wärmeträgers in den Arbeitsraum und dem gleichzeitigen Ausbringen/Absaugen des Wärmeträgers aus dem Arbeitsraum kein Wärmeträger unbeabsichtigt über die Wärmeträgerauslassöffnung in den Zylinder zurückströmen kann. Mit Hilfe der beiden Rückschlagventile kann diese Funktion zuverlässig sichergestellt werden. Außerdem ermöglicht die Rückschlagventilanordnung, dass der Kolben außerhalb der aktiven Eindüszeit ohne Last arbeitet.

[0048] Des Weiteren lässt sich mit Hilfe des doppelwirkenden Pumpkolbens zum gleichzeitigen Transport des Wärmeträgers in und aus dem Arbeitsraum in einfacher Weise eine nichtlineare (z. B. nicht-sinusförmige) Einspritz-/Absaugmenge des Wärmeträgers über einen vollständigen Zyklus des umgesetzten Kreisprozesses vorgeben, was die Energieeffizienz des Kreisprozesses weiter erhöht. Zu diesem Zweck kann der Pumpkolben mit einer nichtlinearen oder nicht-sinusförmigen Kolben-

verschiebung angesteuert werden. Beispielsweise kann am Anfang eines Verdichtungshubs des Arbeitskolbens weniger Wärmeträger in den Arbeitsraum eingespritzt werden als gegen Ende bevor der Kolben seinen oberen Totpunkt erreicht (bei der Expansion entsprechend umgekehrt).

[0049] Die Ansteuerung des doppeltwirkenden Pumpkolbens kann insbesondere derart erfolgen, dass während des gesamten Arbeitszyklus eine konstante Druckdifferenz zwischen dem Arbeitsdruck im Zylinder bzw. Arbeitsraum und dem Einspritzdruck des Wärmeträgers herrscht. Hierdurch lässt sich eine gleichmäßige Spraybildung des Wärmeträgers im Arbeitsraum gewährleisten sowie der Eindüsaufwand minimieren. Im Gegensatz hierzu variiert diese Druckdifferenz bei herkömmlichen Einspritzsystemen mit konstanter Druckvorlage des Wärmeträgers stark, was eine ungleichmäßige und ungünstige Spraybildung hervorruft.

[0050] Alternativ zum doppeltwirkenden Pumpkolben kann der Wärmeträgertransport mittels einer oder mehrerer herkömmlicher Pumpe(n) erfolgen.

[0051] Des Weiteren kann der Kolben (d. h. Arbeitskolben) als im Kolbeninneren hohl ausgeführt sein.

[0052] Sofern das Arbeitsgas nach einem abgeschlossenen Zyklus des umgesetzten Kreisprozesses für die beabsichtigte Anwendung weiterhin einen zu hohen Anteil an flüssigem Wärmeträger enthalten sollte, kann zusätzlich eine weitere Komponente z. B. in Form eines Abscheiders, Trenners o. ä. vorgesehen sein, welche überschüssigen flüssigen Wärmeträger vom Arbeitsgas trennt. Der abgeschiedene Wärmeträger kann - sofern gewünscht - wieder dem Wärmeträgerkreislauf zugeführt werden oder alternativ den Kreislauf verlassen.

[0053] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird bei einem Verfahren zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen, bei denen ein Arbeitsraum innerhalb eines Zylinders bereitgestellt und durch einen in dem Arbeitsraum verlagerbaren Kolben (hierin auch als Arbeitskolben bezeichnet) ein veränderbares Gasvolumen im Arbeitsraum begrenzt wird, ein Arbeitsgas über wenigstens eine Zugangsöffnung im Zylinder in den und/oder aus dem Arbeitsraum eingebracht bzw. ausgebracht. Ein Wärmeträger wird in den Arbeitsraum über wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung eingespritzt und der Wärmeträger wird über wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung aus dem Arbeitsraum an einer anderen Stelle als das Arbeitsgas ausgebracht, das heißt getrennt vom Arbeitsgas.

[0054] Es sei darauf hingewiesen, dass bezüglich verfahrensbezogener Begriffsdefinitionen sowie der Wirkungen und Vorteile verfahrensgemäßer Merkmale vollumfänglich auf die Erläuterungen sinngemäßer Definitionen, Wirkungen und Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung zurückgegriffen werden kann und umgekehrt. Insofern kann auf eine Wiederholung von Erläuterungen sinngemäß gleicher Merkmale, deren Wirkungen und Vorteile bezüglich der hierin offenbarten erfindungs-

gemäßen Vorrichtung sowie des hierin offenbarten erfindungsgemäßen Verfahrens zugunsten einer kompakteren Beschreibung weitgehend verzichtet werden.

[0055] Das Ausbringen des Wärmeträgers über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung getrennt vom Arbeitsgas macht sich den Vorteil einer bereits innerhalb des Arbeitsraums stattfindenden natürlichen Trennung des Wärmeträgers vom Arbeitsgas, z. B. infolge eines Dichteunterschieds zwischen dem Wärmeträger und dem Arbeitsgas sowie einer Schwerkrafteinwirkung, zu nutze. Auf eine ansonsten übliche Wärmeträgerabscheidung außerhalb des Zylinders kann durch das getrennte Ausbringen der beiden Medien verzichtet werden, was die Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens deutlich vereinfacht und erfolgreich Implementierungskosten senkt.

[0056] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der Wärmeträger bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders in Schwerkraft (d. h. in Richtung der Erdbeschleunigung bzw. Schwerkraft) in einem oberen Endabschnitt des Arbeitsraums in den Arbeitsraum eingespritzt und unterhalb der wenigstens einen Wärmeeinspritzöffnung ausgebracht wird, was eine natürliche, schwerkraftunterstützte Trennung des Wärmeträgers vom Arbeitsgas innerhalb des Arbeitsraums zwischen der Wärmeträgereinspritzöffnung und der Wärmeträgerauslassöffnung weiter verbessert.

[0057] Nach einer weiteren Ausgestaltung des Erfindungsgegenstands wird der eingespritzte Wärmeträger über eine entsprechend ausgebildete Kopffläche des Kolbens in Richtung der Wärmeträgerauslassöffnung gelenkt. Hierzu kann die Kolbenkopffläche beispielsweise geneigt in Bezug auf eine Kolbenlängsachse oder kegelig oder gewölbt ausgebildet werden. Besonders bevorzugt kann eine gewölbte Kolbenkopffläche klöpperförmig ausgebildet werden.

[0058] Nach einer anderen vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird der Wärmeträger stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung vor dem Ausbringen aus dem Arbeitsraum in einem Ringspalt zwischen dem Kolben und einer Zylinderinnenwand des Zylinders gesammelt. Nach dem Durchfliegen des Gasvolumens im Arbeitsraum strömt der Wärmeträger in dem Ringspalt nach unten und kann sich vor der Wärmeträgerauslassöffnung in einem Flüssigkeitssumpf ansammeln.

[0059] Gemäß einer noch weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Ringdurchmesser (d. h. radialer Durchmesser) des Ringspalts in einem Bereich von 0,1 mm bis 2 mm, bevorzugter zwischen 0,15 mm und 1,5 mm und noch bevorzugter zwischen 0,2 mm und 1,5 mm gewählt. Hierbei können kleinere Ringdurchmesser aus den angegebenen Bereichen bei Verwendung dünnflüssigerer Wärmeträger und größere Ringdurchmesser innerhalb der angegebenen Bereiche bei Verwendung dickflüssigerer Wärmeträger gewählt werden. Der Wärmeträger kann auf diese Weise beispielsweise laminar an Wänden des Ringspalts entlangfließen, um eine

schwerkraftunterstützte effiziente Trennung des Wärmeträgers vom Arbeitsgas bereits innerhalb des Zylinders zu erzielen. Die Höhe des Ringspalts wird bevorzugt so gewählt, dass sich einerseits ein ausreichendes Reservoir des Flüssigkeitssumpfes ausbilden kann, das wenigstens einen Teil des pro Zeiteinheit eingespritzten Wärmeträgers temporär aufnehmen kann, und andererseits das Gesamtvolumen des Ringspalts auf ein Minimum reduziert wird.

[0060] Alternativ oder zusätzlich kann eine Absenkgeschwindigkeit des Wärmeträgers durch Verrieselung in dem Ringspalt verringert werden. Beispielsweise kann hierfür ein Demister in dem Ringspalt eingesetzt werden. Entlang der Verrieselungsstrecke kann sich weiteres Arbeitsgas vom Wärmeträger trennen.

[0061] Alternativ oder zusätzlich können Wärmeträgertropfen an einer Blende, einem Metallgitter o. ä. innerhalb des Zylinders, z. B. an den Gasaustrittöffnungen des Zylinders und/oder im Ringspalt, abgeschieden werden.

[0062] Eine Entgasung des Wärmeträgers im Ringspalt, z. B. mit Hilfe des Demisters, verhindert zusätzlich, dass der Wärmeträger mit dem auf- und absteigenden Kolben im Ringspalt mitbewegt wird und nicht zur Ruhe kommt, wodurch u. a. ein zuverlässiges Ausbringen (z. B. Absaugen) des Wärmeträgers erschwert wird.

[0063] Weiterhin vorteilhaft ist es gemäß einer anderen Ausgestaltung, dass der Wärmeträger vor dem Ausbringen in einem Sumpfraum bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders in Schwererichtung am unteren Ende des Ringspalts gesammelt wird. In dem freien Sumpfraum, in dem sich der einlaufende Wärmeträger sammeln und zur Ruhe kommen kann, können effektiv u. a. weitere Gasblasen abgeschieden werden. Des Weiteren kann der Füllstand des Wärmeträgersumpfs derart gesteuert werden, dass zu keinem Zeitpunkt Arbeitsgas aus dem Zylinder durch die Wärmeträgerauslassöffnung strömen kann. Mit anderen Worten kann der Füllstand des Wärmeträgersumpfs die Wärmeträgerauslassöffnung stets bedecken und auf diese Weise für das Arbeitsgas zuverlässig verschließen.

[0064] Weiter nach einer bevorzugten Ausgestaltung des Erfindungsgegenstands wird der Wärmeträger unter Verwendung eines doppeltwirkenden Pumpkolbens gleichzeitig sowohl über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung in den Arbeitsraum eingespritzt als auch über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung aus dem Arbeitsraum ausgebracht bzw. abgesaugt. In anderen Worten wird gleichzeitig beim Einspritzen des Wärmeträgers der Wärmeträger in gleicher Menge wieder aus dem Arbeitsraum ausgebracht bzw. abgesaugt, wodurch das Gasvolumen des Arbeitsgases im Zylinder/Arbeitsraum in Bezug auf den Wärmeträgeraustausch konstant gehalten wird.

[0065] Nach einer noch weiteren vorteilhaften Ausgestaltung erfolgt das Einspritzen und/oder Absaugen einer Menge des Wärmeträgers während der isothermen Zustandsänderung, d. h. innerhalb eines Zyklus, im Wär-

mekraftprozess bzw. Arbeitsmaschinenprozess, nichtlinear (z. B. nicht-sinusförmig). Bei der isothermen Expansion sowie der isothermen Verdichtung steigt aus thermodynamischer Sicht der Arbeitsaufwand für die Verdichtung mit steigendem Druck im Arbeitsraum. Das heißt, auf dem Weg vom unteren zum oberen Totpunkt des Arbeitskolbens muss für den gleichen Weg zunehmend mehr Kompressionsarbeit aufgewandt werden und daher auch mehr Wärme weggekühlt werden. Der Wärmeträger wird während eines Zyklus des Kreisprozesses nicht mit konstantem Druck eingespritzt oder mit konstantem Volumenstrom, sondern am Anfang mit geringerem Druck und gegen Ende mit höherem Druck bzw. am Anfang wird weniger und am Ende wird mehr Wärmeträger in den Arbeitsraum eingespritzt. Bei der Expansion ist es umgekehrt. Hier wird am Anfang dem Arbeitsgas die meiste Wärme zugeführt und gegen Ende weniger Wärme und damit gegen Ende auch eine geringere Wärmeträgermenge bzw. der Wärmeträger mit einem geringeren Einspritzdruck. Auf diese Weise kann der Arbeitsaufwand für das Einspritzen des Wärmeträgers klein gehalten werden und die Effizienz des umgesetzten Kreisprozesses gesteigert werden.

[0066] Weiterhin kann der Arbeitskolben bei einer möglichen Ausbildung als Tauchkolbenzylinder (d. h. Plunger) mit hydraulischem Antrieb diskontinuierlich gesteuert werden.

[0067] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispiels der Erfindung, die im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert wird. In dieser Zeichnung zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
- Fig. 2 eine Längsschnittansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
- Fig. 3 eine Längsschnittansicht eines noch weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung gemäß der Erfindung,
- Fig. 4 ein Fließschema eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens gemäß der Erfindung unter Verwendung der Vorrichtung aus Fig. 1,
- Fig. 5 ein Fließschema eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Verfahrens gemäß der Erfindung unter Verwendung der Vorrichtung aus Fig. 2 und
- Fig. 6 einen beispielhaften Druckverlauf eines Arbeitsgases im Verhältnis zu einem Druckverlauf eines Wärmeträgers einer beispielhaften

Vorrichtung gemäß der Erfindung dar.

[0068] In den unterschiedlichen Figuren sind hinsichtlich ihrer Funktion gleichwertige Teile stets mit denselben Bezugszeichen versehen, so dass diese in der Regel auch nur einmal beschrieben werden.

[0069] Fig. 1 stellt schematisch eine Längsschnittansicht eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung 1 zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen gemäß der Erfindung dar. Die Vorrichtung 1 weist einen Zylinder 2 auf, der einen Arbeitsraum 3 bereitstellt, und einen in dem Arbeitsraum 3 verlagerbaren, insbesondere längsverschiebbaren (d. h. entlang seiner Längsachse 19), Kolben 4 zur Begrenzung eines im Arbeitsraum 3 veränderbaren Gasvolumens. Der Kolben 4 (hierin auch als Arbeitskolben bezeichnet) kann hohl ausgebildet sein. Das im Arbeitsraum 3 vorhandene Gasvolumen kann durch den Kolben 4 expandiert oder komprimiert werden.

[0070] Wie in Fig. 1 weiter ersichtlich ist, weist der Zylinder 2 der vorliegenden Vorrichtung 1 zwei Zugangsöffnungen 5 und 6 auf, von denen eine, 5, zum Einbringen von Arbeitsgas in den Arbeitsraum 3 und die andere, 6, zum Ausbringen des Arbeitsgases aus dem Arbeitsraum 3 dienen. In Fig. 1 ist die Zugangsöffnung 5 zusätzlich und ohne zwingende Beschränkung hierauf mit einem Saugventil ausgebildet und die Zugangsöffnung 6 mit einem Druckventil, wie sie z. B. bei einem Verdichter vorgesehen sein können. Die Ventile in den Zugangsöffnungen 5 und 6 können in vorteilhafter Weise als gewöhnliche Rückschlagventile ausgebildet sein, wie in Fig. 1 angedeutet ist. Ferner weist die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung 1 wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung 7 (vorliegend zwei dargestellt) zum Einspritzen eines Wärmeträgers 9 in den Arbeitsraum 3 und wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung 8 zum Ausbringen des Wärmeträgers 9 aus dem Arbeitsraum 3 auf. Es ist in Fig. 1 deutlich zu erkennen, dass die Wärmeträgerauslassöffnung 8 und wenigstens die Zugangsöffnung 6 zum Ausbringen des Arbeitsgases aus dem Arbeitsraum 3 separate Öffnungen sind.

[0071] Insbesondere ist in Fig. 1 deutlich zu erkennen, dass bei der beispielhaften Vorrichtung 1 die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung 8 bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders 2 in Schwererichtung G (d. h. in Richtung der Erdbeschleunigung bzw. Schwerkraft) unterhalb der wenigstens einen Wärmeträgereinspritzöffnung 7 angeordnet ist.

[0072] Weiter zeigt Fig. 1, dass die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung 7 bezogen auf die betriebsgemäße Lage des Zylinders 2 in Schwererichtung G in einem oberen Endabschnitt des Arbeitsraums 3 angeordnet ist. Vorliegend ist die Wärmeträgereinspritzöffnung 7 in einem Zylinderkopf 10 des Zylinders 2 angeordnet, wobei der Zylinderkopf 10 flach, klöpperförmig oder zu seinen äußeren Rändern hin stark abgeschrägt ausgebildet sein kann. Die Wärmeträgereinspritzöffnung

gen 7 befinden sich bei dem vorliegenden Beispiel wie in Fig. 1 zu erkennen in einem oberen Endabschnitt des Zylinders 2.

[0073] Der Zylinderkopf 10 ist in seiner Form an eine Kolbenkopffläche 11 angepasst. Die Kopffläche 11 des Kolbens 4 begrenzt das Gasvolumen im Arbeitsraum 3 kolbenseitig. Bei dem vorliegend gezeigten Beispiel ist die Kopffläche 11 des Kolbens 4 gewölbt ausgebildet, bevorzugt klöpperförmig. In Fig. 1 ist die Kopffläche 11 im Wesentlichen als eine abgeflachte Halbkugelform dargestellt, die die bereits im allgemeinen Teil der Beschreibung erwähnten Maße (d. h. Außendurchmesser und Radien) einer Klöpperform aufweisen kann, ohne jedoch zwingend hierauf beschränkt zu sein.

[0074] Die beispielhafte Vorrichtung 1 in Fig. 1 stellt außerdem einen Ringspalt 12 stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung 8 zwischen dem Kolben 4 und einer Zylinderinnenwand des Zylinders 2 zum Sammeln des Wärmeträgers 9 vor dem Ausbringen aus dem Arbeitsraum 3 bereit.

[0075] Am unteren Ende, d. h. bezogen auf die betriebsgemäße Lage des Zylinders 2 in Schwererichtung G, des Ringspalts 12 weist die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung 1 zusätzlich einen Sumpfraum 13 zum Sammeln des einlaufenden Wärmeträgers 9 auf. Der Sumpfraum 13 befindet sich in einem bezogen auf die Schwererichtung G unteren Endabschnitt des Zylinders 2, der dem oberen Endabschnitt diametral gegenüberliegt.

[0076] In Fig. 1 ist zu erkennen, dass der flüssige Wärmeträger 9 von oben in den Arbeitsraum 3 eingespritzt/ingedüst wird, wobei je nach Dimensionierung des Zylinders 2 bzw. des Arbeitsraums 3 ein einziger Sprühkegel oder mehrere (wie vorliegend dargestellt) zum Einsatz kommen können. Der Wärmeträger 9 wird durch den Zylinderkopf 10 eingespritzt und durch den Kolben 4, insbesondere seine Kopffläche 11, so gelenkt, dass der flüssige Wärmeträger 9 nach Durchfliegen des in dem Arbeitsraum 3 vorhandenen Gasvolumens in dem Ringspalt 12 nach unten strömt und sich unten im Sumpfraum 13 ansammelt. Nach einer Verdichtung oder Expansion des Arbeitsgases kann dieses über die Zugangsöffnung 6 ausgeschoben werden.

[0077] Der Wärmeträger 9 hat die Aufgabe, während der Kompression Wärme aus dem Arbeitsgas aufzunehmen und während der Expansion Wärme an das Arbeitsgas abzugeben. Der eingespritzte/ingedüste Wärmeträger 9 trifft auf den Kolben 4 oder die Zylinderwandung auf und kann von dort aus über den Ringspalt 12 in den Sumpf 13 fließen. Der Ringspalt 12 wird nur so groß gewählt, dass zum einen genügend flüssiger Wärmeträger 9 in den Sumpf 13 gelangt und zum anderen das Totvolumen klein bleibt. Der Sumpf 13 kann einen freien Raum bereitstellen, in dem sich der eingebrachte Wärmeträger 9 ablagern und sammeln kann, um u. a. Gasblasen abzuscheiden. Im unteren Bereich des Zylinders 2 befinden sich die eine oder mehrere Wärmeträgerauslassöffnungen 8. Der Füllstand des Sumpfs 13 wird vorzugsweise so gewählt, dass zu jedem Zeitpunkt sichergestellt ist,

dass kein Arbeitsgas aus dem Zylinder 2 bzw. dem Arbeitsraum 3 in die Auslassöffnung 8 strömen kann.

[0078] Der flüssige Wärmeträger 9 wird bevorzugt mit einer hohen Wärmekapazität ausgewählt, nicht oder zumindest wenig korrosiv, mit einer schlechten Löslichkeit in Gasen, d. h. das Arbeitsgas löst sich schlecht im Wärmeträger, und mit einer für die Einspritzung geeigneten Viskosität. Außerdem ist der Wärmeträger 9 bevorzugt thermisch stabil bis etwa 220 °C. Geeignete Wärmeträger sind u. a. Wasser, Öle und ionische Flüssigkeiten mit den gewünschten Eigenschaften.

[0079] Zum Einspritzen des Wärmeträgers 9 ist die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung 7 vorzugsweise düsenförmig ausgebildet. Die Anzahl der Einspritzdüsen, Art der Einspritzdüse, Anordnung und Ausrichtung ist so zu wählen, dass der thermische Widerstand vom flüssigen Wärmeträger auf das Arbeitsgas im Arbeitsraum 3 während des Eindüsvorgangs minimiert wird und zugleich der Aufwand für das Eindüsen klein ist. Die Düsen sind vorzugsweise im Zylinderkopf 10 versenkt, damit der Totraum minimiert wird.

[0080] Wie Fig. 1 deutlich zu entnehmen ist, ist der durch den Ringspalt 12 der Vorrichtung 1 gebildete schädliche Raum (d. h. Totraum), wozu der nicht mit dem Wärmeträger 9 gefüllte Ringraum zählt, aufgrund des verhältnismäßig klein dimensionierbaren Ringspalts 12 sehr klein.

[0081] Im Gegensatz zu vorbekannten Vorrichtungen, die nur sehr langsame Einzelhübe von beispielsweise lediglich 4 s für einen Kolbenhub vom oberen zum unteren Totpunkt verwirklichen, gelingt bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 eine Wärmeübertragung vom eingespritzten Wärmeträger 9 auf das zu verdichtende/expandierende Arbeitsgas derart effizient, dass das Gas in sehr kurzer Zeit (z. B. etwa 0,2 s oder schneller) durch Eindüsen von kaltem Wärmeträger 9 gekühlt (Verdichter) oder umgekehrt erwärmt (Expansion) werden kann.

[0082] Es wurde erkannt, dass dies umso besser gelingt (d. h. geringer werdender Wärmewiderstand zwischen flüssigem Wärmeträger und Arbeitsgas), je höher der Differenzdruck (Einspritzdruck minus Kammerdruck im Arbeitsraum) ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung, z. B. die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung 1, kann in einem optimalen Betriebszustand abhängig von dem erforderlichen Energieaufwand für die Einspritzung des Wärmeträgers und der angestrebten Abkühl- oder Aufheizwirkung auf das Arbeitsgas sowie die erreichbare Verkürzung der Verdichtungsphase bzw. Expansionsphase und damit der Erreichung praktikabler Drehzahlen betrieben werden.

[0083] Der Kolben 4 kann als Tauchkolbenzylinder (Plunger/Verdrängerkolben) mit z. B. einem hydraulischen Antrieb 14 oder einem mechanischen Antrieb 15 mit Pleuel und Kurbeltrieb (vgl. Fig. 4 und 5) ausgeführt sein.

[0084] Fig. 1 ist weiter zu entnehmen, dass unten am Kolben 4 eine geeignete Dichtung 16 und eine Gleitführung 17 vorgesehen sein können, die in einem Dich-

tungspaket 18 als eine gemeinsame Baugruppe bereitgestellt und montiert sein können. Die Dichtung 16 und die Gleitführung 17 sind bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel in einem unteren Abschnitt des Zylinders 2 feststehend an diesem angebracht. Der Kolben 4 ist vorliegend als Plunger ausgebildet, der in der feststehenden Dichtung 16 und Gleitführung 17, d. h. dem Dichtungspaket 18, gleitet. Dies hat u. a. den Vorteil, dass die Vorrichtung 1 in jeder Plungerstellung nach außen abgedichtet ist, und weiter, dass zu jeder Zeit eine fluidleitende Verbindung zwischen der Wärmeträgereinspritzöffnung 7 und der Wärmeträgerauslassöffnung 8 gegeben ist. Hierdurch kann zur Erzielung einer optimalen isothermen Verdichtung oder Expansion eine kontinuierliche, effiziente Wärmeübertragung zwischen dem Wärmeträger 9 und dem Arbeitsgas sichergestellt werden.

[0085] Fig. 2 stellt eine Längsschnittansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung 20 zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen gemäß der Erfindung dar.

[0086] Der wesentliche Unterschied der Vorrichtung 20 zur Vorrichtung 1 aus Fig. 1 besteht darin, dass lediglich eine einzige Zugangsöffnung 21 zum Einbringen und Ausbringen von Arbeitsgas in den bzw. aus dem Arbeitsraum 3 vorgesehen ist, wie beispielsweise bei Verwendung der Vorrichtung 20 als Bestandteil eines Stirlingmotors. Nach der Verdichtung oder Expansion des Arbeitsgases im Arbeitsraum 3 kann dieses über die Öffnung 21 ausgeschoben werden.

[0087] Weiterhin unterscheidet sich die Vorrichtung 20 von der Vorrichtung 1 aus Fig. 1 darin, dass der Wärmeträger 9 vorliegend in einem brauseartigen Vollstrahl in den Arbeitsraum 3 von oben im Wesentlichen in Richtung auf die Kolbenkopffläche 11 eingespritzt wird. Hierzu weist der Zylinderkopf 10 eine Vielzahl kleiner Öffnungen für den Wärmeträger auf.

[0088] Des Weiteren weist die Vorrichtung 20 im Unterschied zur Vorrichtung 1 aus Fig. 1 einen Demister 22 auf, der in dem Ringspalt 12 angeordnet ist. Die beabsichtigten Druckschwankungen im Arbeitsraum 3 können zu einer - wenn auch geringen - wechselnden Gasaufnahme des flüssigen Wärmeträgers 9 führen. Daher kann es vorteilhaft sein, die Absenkgeschwindigkeit des Wärmeträgers 9 durch Verrieselung im Ringspalt 12 zu reduzieren und eine Entgasung mittels des Demister 22 bereits im Arbeitsraum 3 herbeizuführen. Gleichzeitig kann hierdurch verhindert werden, dass der Wärmeträger mit dem auf- und absteigenden Kolben 4 über den Ringspalt 12 mitbewegt wird, nicht zur Ruhe kommt und ein Absaugen/Ausbringen und ggfs. Wiedereinspritzen des Wärmeträgers 9 erschwert wird.

[0089] Es sei darauf hingewiesen, dass das Vorsehen eines Demisters 22 nicht zwingend auf das Ausführungsbeispiel der in Fig. 2 gezeigten Vorrichtung 20 beschränkt ist, sondern optional ebenfalls mit einer Vorrichtung nach Art der Vorrichtung 1 aus Fig. 1 kombiniert werden kann. Umgekehrt kann eine weitere beispielhafte Vorrichtung

gemäß der Erfindung (nicht dargestellt) nach Art der Vorrichtung 20 aus Fig. 2, d. h. mit lediglich einer Zugangsöffnung 21, auch ohne Demister 22 ausgeführt sein. In entsprechender Weise kann die konkrete Art der Wärmeträgereinspritzung, z. B. in Form einzelner Sprühkegel wie in Fig. 1 gezeigt oder brauseartig wie in Fig. 2 dargestellt, beliebig mit einer der hierin offenbarten Ausführungsbeispiele kombiniert werden.

[0090] Des Weiteren kann, sofern das Arbeitsgas nach abgeschlossener Kompression/Expansion noch einen zu hohen Anteil an flüssigem Wärmeträger beinhaltet, überschüssige Flüssigkeit vom Arbeitsgas mittels eines separaten Abscheiders, Trenners o. ä. getrennt werden. Ein solcher Abscheider kann insbesondere außerhalb des Zylinders 2 angeordnet sein. Der auf diese Weise abgeschiedene Wärmeträger kann, sofern gewünscht, dem Wärmeträgerkreislauf wieder zugeführt werden oder alternativ den Kreislauf verlassen. Zum Abscheiden großer Tropfen kann optional ein Einsatz in Form einer Blende/Metallgitters o. ä. an der Wärmeträgerauslassöffnung 8 innerhalb des Zylinders 2 vorgehen sein.

[0091] Fig. 3 zeigt eine Längsschnittansicht eines noch weiteren Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung 25 zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen gemäß der Erfindung. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Kolben 4 der Vorrichtung 25 bzw. die Kopf- fläche 11 des Kolbens 4 geneigt in Bezug auf seine Kolbenlängsachse 19 ausgebildet. Der Zylinderkopf 10 ist entsprechend der Kolbenform ausgebildet. Der Sprüh- kegel des einzuspritzenden Wärmeträgers 9 ist in etwa parallel zur Kolbenkopffläche 11 ausgerichtet, so dass eine Sprühlänge des Sprühkegels des eingespritzten Wärmeträgers 9 auch bei der in Fig. 3 dargestellten Kolbenposition in der Nähe des oberen Totpunkts noch hin- reichend groß ist, um die hierin beschriebene Wirkung (z. B. Wärmeübertragung auf das Arbeitsgas) optimal zu erzielen.

[0092] Fig. 4 stellt ein Fließschema eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen gemäß der Erfindung unter beispielhafter Verwendung der Vorrichtung 1 aus Fig. 1 dar. Die Vorrichtung 1 wird in Fig. 4 beispielhaft als Verdichter betrieben. Die Luft bzw. das Arbeitsgas gelangt über das Ansaugventil/Einlassöffnung 5 in den Zylinder 2 und wird nach Verdichtung über das Druck- ventil/Auslassöffnung 6 ausgeschoben. Die Förderung des flüssigen Wärmeträgers 9 wird in diesem Beispiel mit einer Hydraulikpumpe 26, einem Druckspeicher 28 und einem drucklosen Tank 27 realisiert. Die Druckbe- aufschlagung der Wärmeträgereinspritzdüsen 7 und das Ablassen eines Sumpfes aus der Wärmeträgerauslass- öffnung 8 wird mit Ventilen 29 und 30 gesteuert. Die Pumpe 26 fördert den Wärmeträger vom drucklosen Tank 27 in den Druckspeicher 28. Die Pumpe 26 ist bevorzugt druckgeregelt. Ein Wärmeübertrager 34 führt dem Wärmeträger, je nach Anwendungsfall, Wärme zu oder ab.

In diesem Ausführungsbeispiel werden verbleibende Wärmeträgertropfen und das verdichtete Arbeitsgas zusätzlich in einem außerhalb des Zylinders 2 angeordneten Abscheider 31 voneinander getrennt. Der abgeschie- dene Wärmeträger kann über ein Ventil 32 wieder zurück in den drucklosen Tank 27 fließen. Das verdichtete ge- trocknete Arbeitsgas tritt aus dem Abscheider 31 aus (33). Der Antrieb des Kolbens 4 wird bei dem vorliegen- den Beispiel mittels Kurbelantrieb 15, das heißt mittels Pleuel und Pleueltrieb, und einem Dichtungspaket 18 realisiert.

[0093] Fig. 5 stellt ein Fließschema eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraft- prozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen gemäß der Erfindung unter Verwendung der Vorrichtung 20 aus Fig. 2 dar. In dem dargestellten Anwendungsfall bildet der Zylinder 2 beispielhaft einen Zylinder eines nicht weiter dargestellten Stirlingmotors. Am Zylinder 2 befindet sich nur eine Zugangsöffnung 21 für das Arbeitsgas zu einem Regenerator. Bei dem vorliegenden Ausführungsbei- spiel fördert ein doppeltwirkender Pumpkolben 38 den Wärmeträger von der Wärmeträgerauslassöffnung 8 zur wenigstens einen Wärmeträgereinspritzöffnung 7. Der doppeltwirkende Pumpkolben 36 ist eingerichtet, den Wärmeträger 9 gleichzeitig sowohl über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung 7 in den Arbeitsraum 3 einzuspritzen als auch über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung 8 aus dem Arbeitsraum 3 aus- zubringen bzw. abzusaugen.

[0094] Eine Kolbenansteuerung 39 des Pumpkolbens 38 kann z. B. hydraulisch, elektromechanisch oder über einen Pleueltrieb erfolgen und wird mit der Bewegung des Arbeitskolbens 4 im Zylinder 2 synchronisiert, so- dass dieser bei Expansion oder Kompression, je nach Anwendung, Wärmeträger 9 einspritzt/eindüst. Das Hub- volumen, Start eines Hubs und Zeitdauer ist entspre- chend zu wählen. Durch drei Rückschlagventile 35, 36, 37 wird eine Rückströmung des Wärmeträgers 9 in den Zylinder 2, z. B. in den Wärmeträgersumpf innerhalb des Zylinders 2, verhindert und das Gasvolumen nicht durch die Einspritzung des Wärmeträgers 9 in den Arbeitsraum 3 verändert.

[0095] Bei dem vorliegenden Beispiel wird der Arbeits- kolben 4 durch einen Pleueltrieb hydraulisch ange- trieben (14). Hubdauer und Hubgeschwindigkeit können über einen hydraulischen Anschluss 40 gesteuert wer- den. Der hydraulische Antrieb 14 ermöglicht eine diskon- tinuierliche Kolbensteuerung des Arbeitskolbens 4. Ein Wärmeübertrager 34 führt dem Wärmeträger Wärme zu oder ab, je nach Anwendungsfall.

[0096] Der hydraulische Anschluss 40 kann verwendet werden, eine hydraulische Kopplung zwischen dem Ar- beitskolben 4 und dem doppeltwirkenden Pumpkolben 38 herzustellen, ohne jedoch zwingend auf eine hydrau- lische Kopplung beschränkt zu sein. Eine mechanische Kopplung zwischen dem Arbeitskolben 4 und dem Pump- kolben 38 ist ebenfalls denkbar. Jedenfalls kann durch

eine direkte Kopplung zwischen dem Arbeitskolben 4 und dem Pumpkolben 38 eine Funktionalität des Einspritzsystems unabhängig von Absolutdrücken und Druckverhältnissen erzielt werden. Bei herkömmlichen Einspritzsystemen müssen je nach Betriebsparameter die Einspritzdauer, -zeitpunkt und Einspritzdrücke aufwendig programmiert werden. Außerdem sind die Ventile mit entsprechenden Schaltzeiten nur für gewisse Betriebsbereiche einsetzbar. Mit der Erfindung kann durch eine einfache Mitnehmervorrichtung mit hydraulischer/mechanischer Kupplung ein deutlich breiterer Betriebsbereich ohne aufwendige Programmierung und Parametrisierung der Ventile und Schaltzeiten abgedeckt werden. Durch eine direkte hydraulische/mechanische Kopplung entfallen außerdem weitere Hilfsenergien wie Netzteile und Umwandlungswirkungsgrade für Pumpen und Aktuatoren (in Ventilen).

[0097] In beiden dargestellten Fließschemata der Fig. 4 und 5 wird das Arbeitsgas über die wenigstens eine Zugangsöffnung 5, 6 bzw. 21 im Zylinder 2 in den und/oder aus dem Arbeitsraum 3 eingebracht bzw. ausgebracht, wobei der Wärmeträger 9 in den Arbeitsraum 3 über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung 7 eingespritzt wird und der Wärmeträger 9 über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung 8 aus dem Arbeitsraum 3 an einer anderen Stelle als das Arbeitsgas ausgebracht wird.

[0098] Das Einspritzen und/oder Absaugen einer Menge des Wärmeträgers 9 während eines Zyklus der quasi-isothermen Zustandsänderung im Wärmekraftprozess bzw. Arbeitsmaschinenprozess kann vorteilhaft nichtlinear erfolgen. Hierzu kann beispielsweise die Kolbenansteuerung 39 den Pumpkolben 38 entsprechend nichtlinear verschieben.

[0099] Es sei darauf hingewiesen, dass das Vorsehen des doppeltwirkenden Pumpkolbens 38 und/oder des hydraulischen Antriebs 14 nicht zwingend auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 beschränkt ist, sondern ebenfalls mit einem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 kombiniert werden kann, das heißt der doppeltwirkende Pumpkolben 38 kann beispielsweise mit einem Ausführungsbeispiel mit mechanischem Antrieb 15 des Arbeitskolbens 4 kombiniert werden. Umgekehrt kann selbstverständlich die Hydraulikpumpe 26 gemäß Fig. 4 auch mit dem hydraulischen Antrieb 14 des Arbeitskolbens 4 gemäß einer Ausführung nach Fig. 5 kombiniert werden.

[0100] Fig. 6 stellt einen beispielhaften Druckverlauf eines Arbeitsgases im Verhältnis zu einem Druckverlauf eines Wärmeträgers einer beispielhaften Vorrichtung gemäß der Erfindung dar. Die Vorrichtung kann zum Beispiel ähnlich wie die Vorrichtung 1 aus Fig. 1 oder Vorrichtung 20 aus Fig. 2 ausgebildet sein. Jedenfalls weist die Vorrichtung einen doppeltwirkenden Pumpkolben ähnlich dem in Fig. 5 dargestellten Pumpkolben 38 auf.

[0101] In Fig. 6 ist der Druckverlauf des Arbeitsgases im Zylinder beispielhaft für eine Kompression als durchgezogene Linie 41 dargestellt. Der Druckverlauf des in den Zylinder einzuspritzenden Wärmeträgers ist mit ei-

ner gestrichelten Linie 42 dargestellt. Zum Vergleich ist mit einer strichpunktierten Linie 43 der Druckverlauf eines Wärmeträgerdrucks mit konventionellem Wärmeträger-Vorlagebehälter mit konstantem Druck und Ventilsteuerung dargestellt (nicht Teil der Erfindung). Es ist in Fig. 6 deutlich zu erkennen, dass der Druckverlauf 41 des Arbeitsgases während der beispielhaften Kompression über die Zeit t nichtlinear ansteigt. Mittels einer nichtlinearen Ansteuerung des doppeltwirkenden Pumpkolbens 38 (vgl. Fig. 5) ist es möglich, die Druckdifferenz Δp des in den Arbeitsraum einzuspritzenden Wärmeträgers über den gesamten Zyklus konstant zu halten, was zu einer gleichmäßigen Spraybildung des Wärmeträgers im Arbeitsraum über den gesamten Arbeitszyklus führt und zusätzlich den Eindüsaufwand minimiert.

[0102] Im Gegensatz dazu verändert sich die Druckdifferenz zwischen dem Druck 43 des einzuspritzenden Wärmeträgers und dem Druck 41 des Arbeitsgases im Zylinder bei einem herkömmlichen Einspritzsystem mit Vorlagebehälter und Ventilsteuerung während des Arbeitszyklus erheblich, was eine ungleichmäßige Spraybildung des Wärmeträgers hervorruft.

[0103] Die hierin offenbarte erfindungsgemäße Vorrichtung sowie das erfindungsgemäße Verfahren zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen mit quasi-isothermer Verdichtung bzw. Expansion sind nicht auf die hierin jeweils offenbarten konkreten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfassen jeweils auch gleich wirkende weitere Ausführungsformen, die sich aus technisch sinnvollen weiteren Kombinationen der hierin beschriebenen Merkmale sowohl der Vorrichtung als auch des Verfahrens ergeben. Insbesondere sind die hierin vorstehend in der allgemeinen Beschreibung und der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren allein gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen nicht nur in den jeweils hierin explizit angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0104] Die hierin offenbarte Vorrichtung zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraftprozessen oder Arbeitsmaschinenprozessen mit quasi-isothermer Verdichtung bzw. Expansion wird besonders vorteilhaft zur Umwandlung von verfügbarer Energie aus regenerativen Energiequellen, z. B. Solarthermie, in elektrische Energie verwendet, ohne jedoch zwingend ausschließlich auf derartige Anwendungsfälle beschränkt zu sein. Die umgewandelte elektrische Energie kann von der erfindungsgemäßen Vorrichtung beispielsweise in Haushalten oder Industrieanlagen und dergleichen zur direkten Verwendung bereitgestellt werden.

Bezugszeichenliste

[0105]

1 Vorrichtung

2	Zylinder
3	Arbeitsraum
4	Kolben
5	Erste Zugangsöffnung
6	Zweite Zugangsöffnung
7	Wärmeträgereinspritzöffnung
8	Wärmeträgerauslassöffnung
9	Wärmeträger
10	Zylinderkopf
11	Kolbenkopffläche
12	Ringspalt
13	Sumpfraum
14	Hydraulischer Antrieb
15	Mechanischer Antrieb
16	Dichtung
17	Gleitführung
18	Dichtungspaket
19	Kolbenlängsachse
20	Vorrichtung
21	Zugangsöffnung
22	Demister
25	Vorrichtung
26	Hydraulikpumpe
27	Druckloser Tank
28	Druckspeicher
29	Ventil
30	Ventil
31	Abscheider
32	Ventil
33	Austritt
34	Wärmeübertrager
35	Rückschlagventil
36	Rückschlagventil
37	Rückschlagventil
38	Doppeltwirkender Pumpkolben
39	Kolbenansteuerung
40	Hydraulischer Anschluss
41	Druckverlauf Arbeitsgas
42	Druckverlauf eines Wärmeträgers gemäß der Erfindung
43	Druckverlauf eines Wärmeträgers bei herkömmlichem Vorlagebehälter
G	Schwererichtung
p	Druck
Δp	Konstante Druckdifferenz
t	Zeit

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1, 20, 25) zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraft- oder Arbeitsmaschinenprozessen, aufweisend einen Zylinder (2), der einen Arbeitsraum (3) bereitstellt, einen in dem Arbeitsraum (3) verlagerbaren Kolben (4) zur Begrenzung eines im Arbeitsraum (3) veränderbaren Gasvolumens, wobei der Zylinder (2) wenigstens eine Zugangsöffnung (5, 6, 21) zum Einbringen

und/oder Ausbringen von Arbeitsgas in den bzw. aus dem Arbeitsraum (3), wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) zum Einspritzen eines Wärmeträgers (9) in den Arbeitsraum (3) und wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) zum Ausbringen des Wärmeträgers (9) aus dem Arbeitsraum (3) aufweist, wobei die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) und die Zugangsöffnung (6, 21) zum Ausbringen des Arbeitsgases separate Öffnungen sind.

2. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders (2) in Schwererichtung (G) unterhalb der wenigstens einen Wärmeträgereinspritzöffnung (7) angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders (2) in Schwererichtung (G) in einem oberen Endabschnitt des Arbeitsraums (3) angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kopffläche (11) des Kolbens (4) geneigt in Bezug auf eine Kolbenlängsachse (19), kegelig oder gewölbt, bevorzugt klöpperförmig, ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kolben (4) als Plunger ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Ringspalt (12) stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung (8) zwischen dem Kolben (4) und einer Zylinderinnenwand des Zylinders (2) zum Sammeln des Wärmeträgers (9) vor dem Ausbringen bereitgestellt ist.

7. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Demister (22) in dem Ringspalt (12) angeordnet ist.

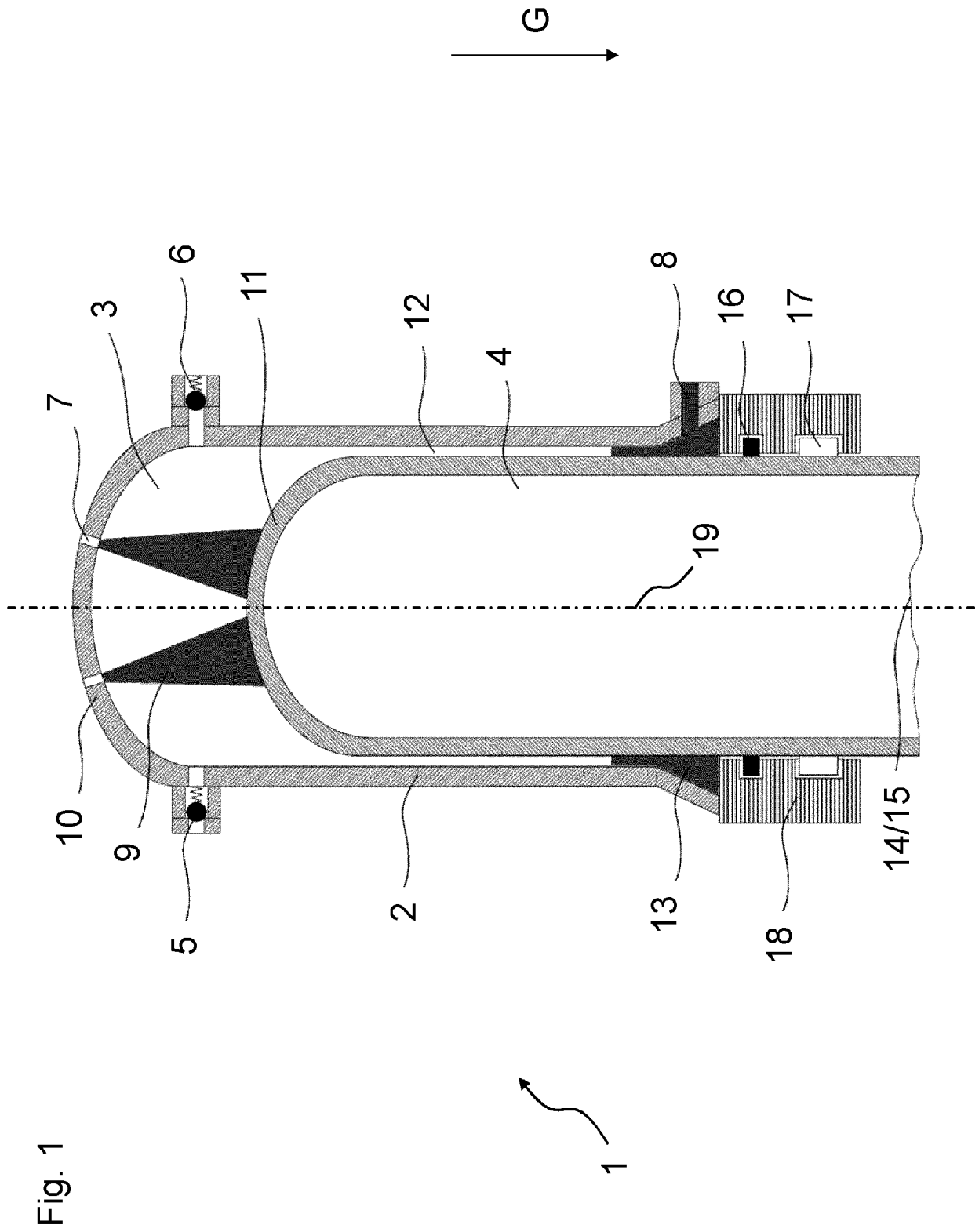
8. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Sumpfraum (13) zum Sammeln des einlaufenden Wärmeträgers (9) bezogen auf eine betriebsge-

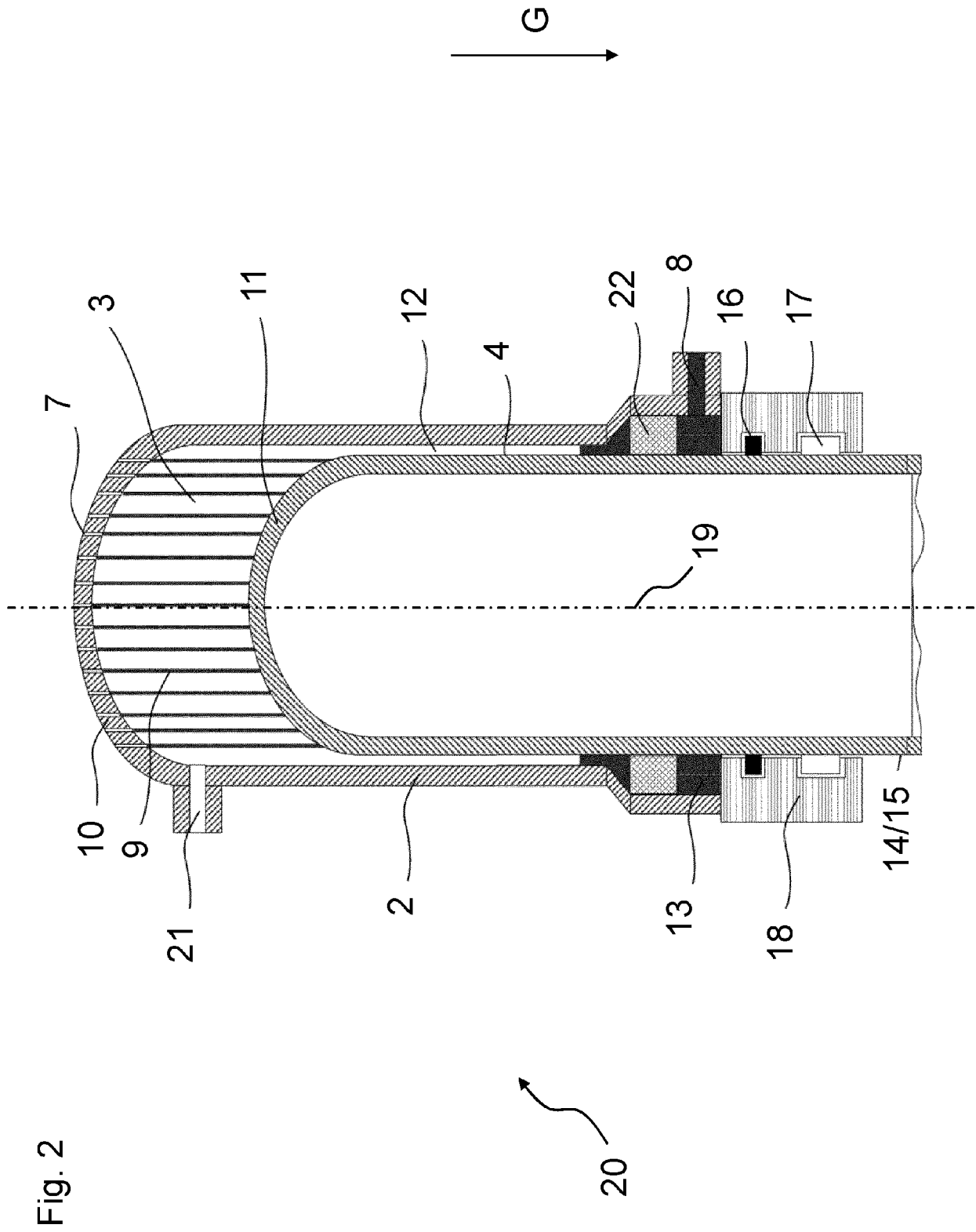
mäße Lage des Zylinders (2) in Schwererichtung (G) am unteren Ende des Ringspalts (12) bereitgestellt ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
einen doppeltwirkenden Pumpkolben (38), der eingerichtet ist, den Wärmeträger (9) gleichzeitig sowohl über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) in den Arbeitsraum (3) einzuspritzen als auch über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) aus dem Arbeitsraum (3) auszubringen. 5
10. Verfahren zur Umsetzung quasi-isothermer Zustandsänderungen in Wärmekraft- oder Arbeitsmaschinenprozessen, bei denen ein Arbeitsraum (3) innerhalb eines Zylinders (2) bereitgestellt wird und durch einen in dem Arbeitsraum (3) verlagerbaren Kolben (4) ein veränderbares Gasvolumen im Arbeitsraum (3) begrenzt wird, wobei ein Arbeitsgas über wenigstens eine Zugangsöffnung (5, 6, 21) im Zylinder (2) in den und/oder aus dem Arbeitsraum (3) eingebracht bzw. ausgebracht wird, wobei ein Wärmeträger (9) in den Arbeitsraum (3) über wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) eingespritzt wird und der Wärmeträger (9) über wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) aus dem Arbeitsraum (3) an einer anderen Stelle als das Arbeitsgas ausgebracht wird. 10 20 25 30
11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wärmeträger (9) bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders (2) in Schwererichtung (G) in einem oberen Endabschnitt des Arbeitsraums (3) in den Arbeitsraum (3) eingespritzt und unterhalb der wenigstens einen Wärmeträgereinspritzöffnung (7) ausgebracht wird. 35 40
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
der eingespritzte Wärmeträger (9) über eine entsprechend ausgebildete Kopffläche (11) des Kolbens (4) Richtung Wärmeträgerauslassöffnung (8) gelenkt wird. 45
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wärmeträger (9) stromauf der Wärmeträgerauslassöffnung (8) vor dem Ausbringen aus dem Arbeitsraum (3) in einem Ringspalt (12) zwischen dem Kolben (4) und einer Zylinderinnenwand des Zylinders (2) gesammelt wird. 50 55
14. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Ringdurchmesser des Ringspalts (12) in einem

Bereich von 0,1 mm bis 2 mm, bevorzugter zwischen 0,15 mm und 1,5 mm und noch bevorzugter zwischen 0,2 mm und 1,5 mm gewählt wird.

15. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wärmeträger (9) vor dem Ausbringen in einem Sumpfraum (13) bezogen auf eine betriebsgemäße Lage des Zylinders (2) in Schwererichtung (G) am unteren Ende des Ringspalts (12) gesammelt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wärmeträger (9) unter Verwendung eines doppeltwirkenden Pumpkolbens (38) gleichzeitig sowohl über die wenigstens eine Wärmeträgereinspritzöffnung (7) in den Arbeitsraum (3) eingespritzt als auch über die wenigstens eine Wärmeträgerauslassöffnung (8) aus dem Arbeitsraum (3) abgesaugt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Einspritzen und/oder Absaugen einer Menge des Wärmeträgers (9) während der quasi-isothermen Zustandsänderung nichtlinear erfolgt.





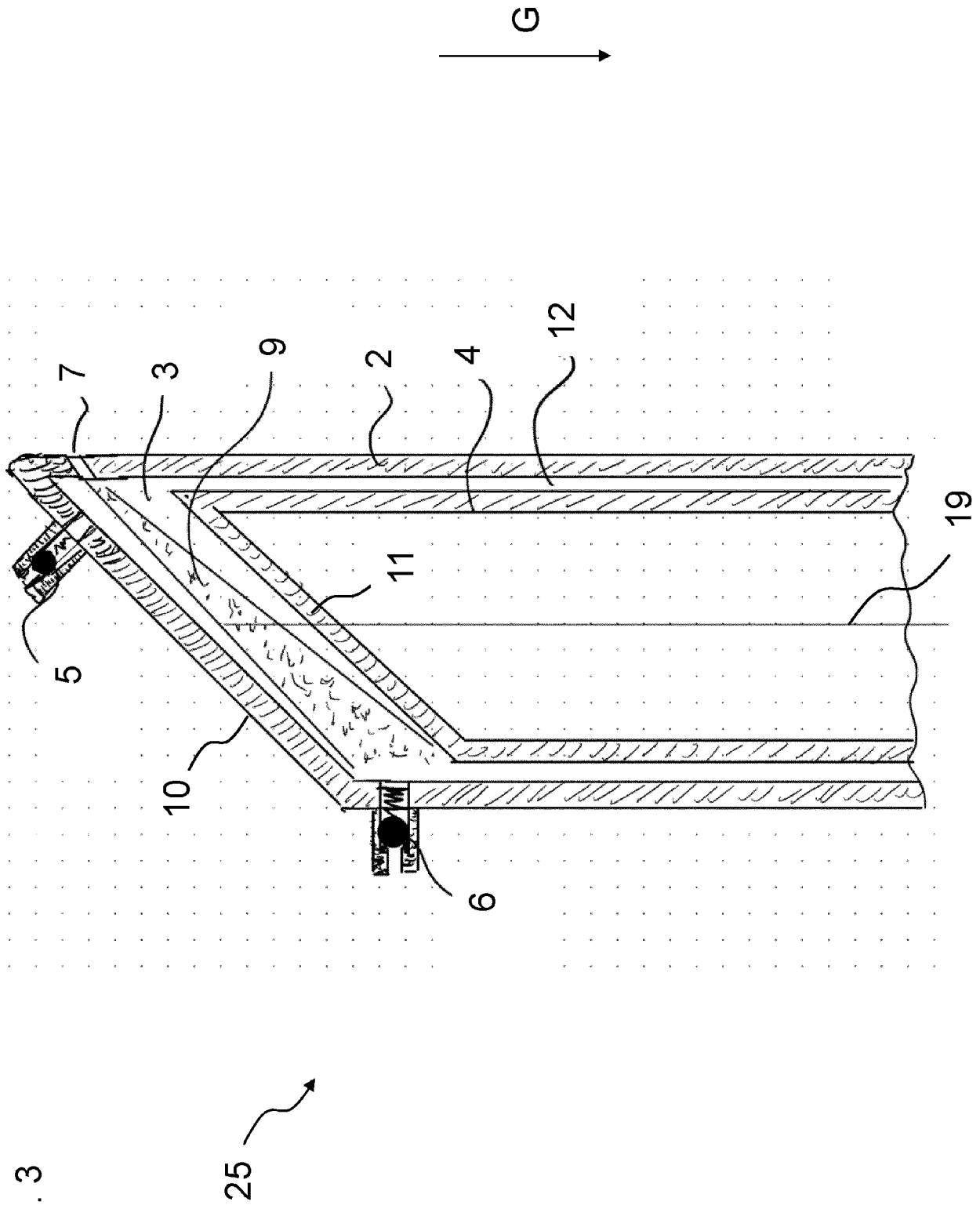


Fig. 3

Fig. 4

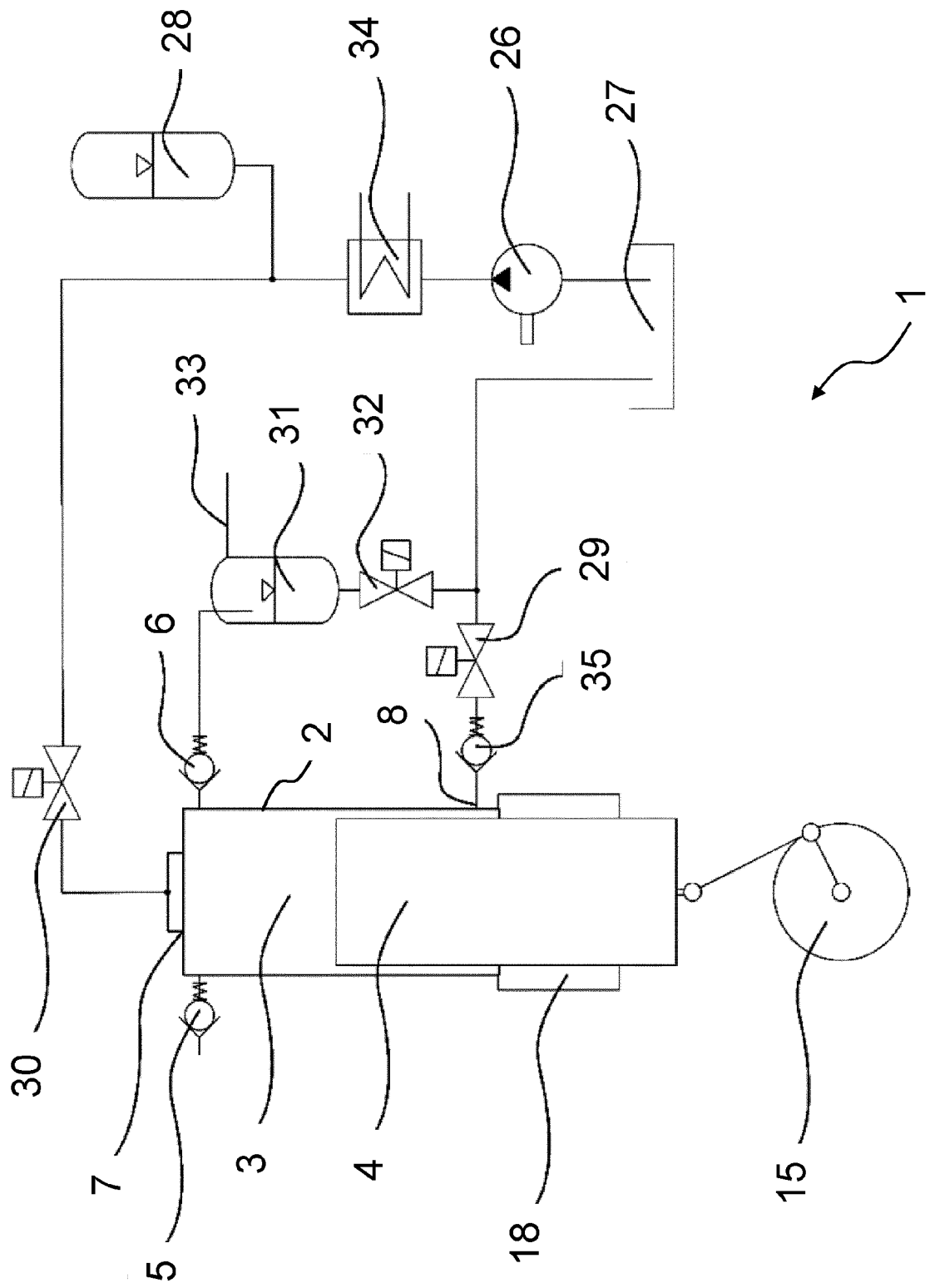


Fig. 5

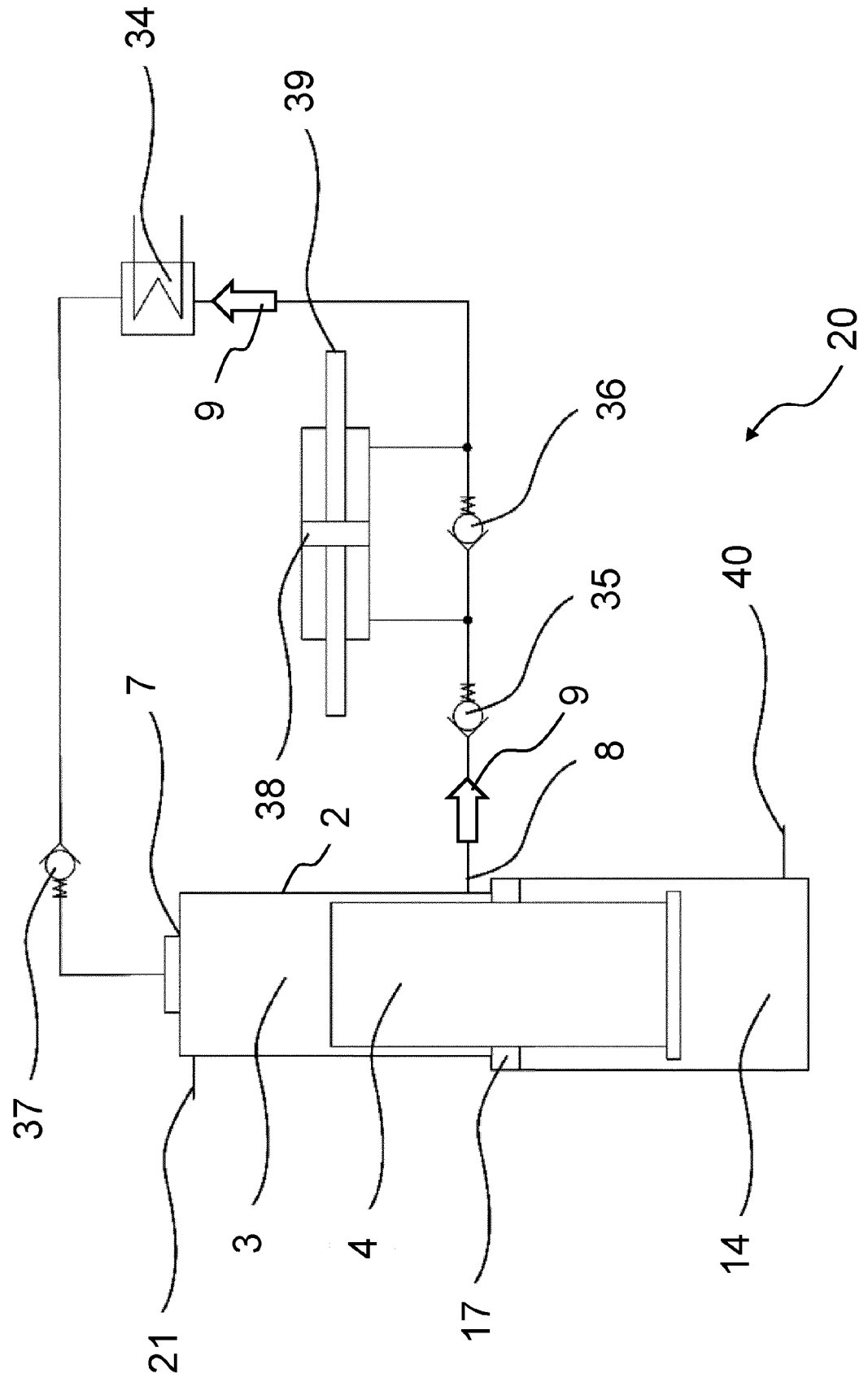
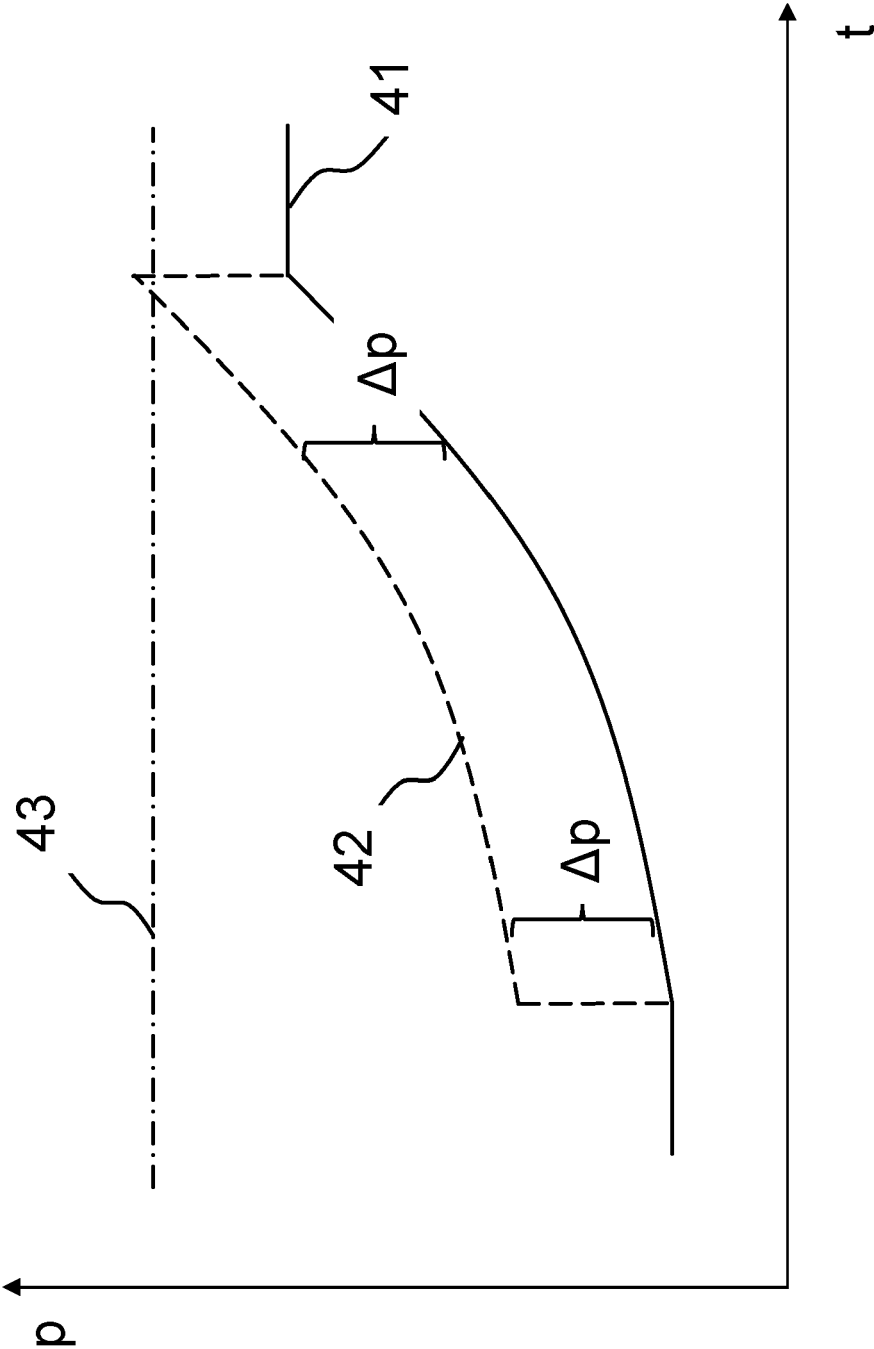


Fig. 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 7515

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 8 479 502 B2 (MCBRIDE TROY O [US]; BOLLINGER BENJAMIN R [US]; SUSTAINX INC [US]) 9. Juli 2013 (2013-07-09)	1-3, 10-12, 17	INV. F01K25/06
A	* Spalte 9, Zeile 21 - Spalte 12, Zeile 4; Abbildungen 1-3 *	4-9, 13-16	
A	US 2010/329903 A1 (FONG DANIELLE A [US] ET AL) 30. Dezember 2010 (2010-12-30) * Absätze [0199] - [0206]; Abbildung 1 *	1-17	
A	WO 2015/091793 A1 (CARNOO UG HAFTUNGSBESCHRÄNKT [DE]) 25. Juni 2015 (2015-06-25) * das ganze Dokument *	1-17	
A	US 10 598 052 B2 (THERMOELECTRIC IND SOLUTIONS GMBH [DE] ET AL.) 24. März 2020 (2020-03-24) * das ganze Dokument *	1-17	
A	WO 2021/151109 A1 (BENSON MARK CHRISTOPHER [GB]) 29. Juli 2021 (2021-07-29) * das ganze Dokument *	1-17	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 30. Oktober 2023	Prüfer Röberg, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 23 17 7515

5

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

30-10-2023

10

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 8479502 B2	09-07-2013	US 2011259442 A1	27-10-2011
		US 2012137668 A1	07-06-2012
		US 2013312417 A1	28-11-2013
		US 2014020372 A1	23-01-2014
US 2010329903 A1	30-12-2010	CA 2749975 A1	20-01-2011
		CN 102365458 A	29-02-2012
		CN 104612755 A	13-05-2015
		EP 2449259 A2	09-05-2012
		JP 5537572 B2	02-07-2014
		JP 5781192 B2	16-09-2015
		JP 2012523514 A	04-10-2012
		JP 2014185640 A	02-10-2014
		JP 2016008613 A	18-01-2016
		KR 20120112363 A	11-10-2012
		KR 20150023737 A	05-03-2015
		US 8919112 B1	30-12-2014
		US 2010326075 A1	30-12-2010
		US 2010329903 A1	30-12-2010
		US 2011023488 A1	03-02-2011
		US 2011023977 A1	03-02-2011
		US 2011030359 A1	10-02-2011
		US 2011030552 A1	10-02-2011
		US 2011314800 A1	29-12-2011
		US 2012019009 A1	26-01-2012
		US 2012067036 A1	22-03-2012
		US 2012090314 A1	19-04-2012
		US 2012255292 A1	11-10-2012
		US 2012291989 A1	22-11-2012
		US 2013047597 A1	28-02-2013
		US 2013104533 A1	02-05-2013
		US 2013108480 A1	02-05-2013
		US 2013111895 A1	09-05-2013
		US 2013333373 A1	19-12-2013
		US 2014026549 A1	30-01-2014
		US 2015033724 A1	05-02-2015
		WO 2011008500 A2	20-01-2011
WO 2015091793 A1	25-06-2015	DE 102013227017 A1	25-06-2015
		WO 2015091793 A1	25-06-2015
US 10598052 B2	24-03-2020	CN 108699922 A	23-10-2018
		DE 112016005759 A5	04-10-2018
		EP 3390785 A1	24-10-2018
		ES 2738728 T3	24-01-2020
		JP 6872804 B2	19-05-2021

55

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

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 23 17 7515

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

30-10-2023

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		JP 2019505712 A	28-02-2019
		KR 20180101397 A	12-09-2018
		PL 3390785 T3	31-10-2019
		US 2018371959 A1	27-12-2018
		WO 2017101914 A1	22-06-2017
WO 2021151109 A1	29-07-2021	KEINE	

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

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