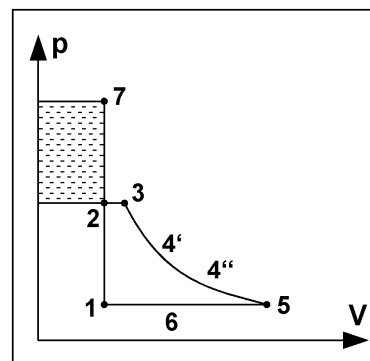
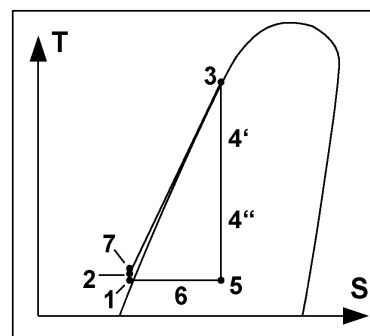


Die Bezugnahmen auf die Zeichnung(en) Nr. 14a-d gelten als gestrichen (R. 56(4)(6) EPÜ).

nachfolgend in einem zweiten Energiewandler die potentielle Energie in technisch nutzbare mechanische Energie gewandelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme mit einer Temperatur von maximal 200°C in technisch nutzbare mechanische Energie und nachfolgend elektrische Energie.

Stand der Technik

[0002] Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz von Niedertemperaturwärmequellen zu möglichen Wärmesenken wie Wasser oder Umgebungsluft und des daraus resultierenden niedrigen theoretischen Wirkungsgrades ist die möglichst vollständige Ausnutzung der theoretisch nutzbaren thermischen Energie wünschenswert. Möglich wird dies durch Realisierung eines Trilateral-Cycle (TLC-) Prozesses nach Smith (US4,557,112), der theoretisch den höchsten exergetischen Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Wärmekraftprozessen wie einem Dampfkraftprozess oder ORC-Prozess aufweist.

[0003] Im TLC-Prozess nach Smith (siehe Fig. 1) durchläuft ein Arbeitsmittel die Schritte:

- Isochore Druckerhöhung (Pkt. 1 - Pkt. 2)
- Isobare Wärmezufuhr ohne Verdampfung des Arbeitsmittels (Pkt. 2 - Pkt. 3)
- Isentrope Expansionsverdampfung bei kontinuierlicher Druckverminderung mit gleichzeitiger Volumenvergrößerung und Verrichten von Volumenarbeit (Pkt. 3 - Pkt. 5)
- Isobare Wärmeabfuhr und Kondensation des verdampften Anteils des Arbeitsmittels (Pkt. 5 - Pkt. 1)

[0004] Der prinzipielle Aufbau einer Vorrichtung nach dem Stand der Technik ist in Fig.2 dargestellt. Beginnend beim Punkt 1 wird ein Arbeitsmittel durch eine Druckpumpe unter Arbeitsdruck gesetzt, es wird in einem Wärmetauscher externe Wärme zugeführt, diese durch Teilverdampfung des Arbeitsmittels in einer Wärmekraftmaschine in eine Rotationsbewegung umgesetzt die einen Generator antreibt. Der entstandene Arbeitsmitteldampf wird nach Austritt aus der Wärmekraftmaschine kondensiert und der Kreislauf beginnt erneut.

[0005] Die technische Herausforderung des TLC-Prozesses liegt in der Umsetzung der Teilverdampfung als erzwungene Expansionsverdampfung mit einer senkrecht fallenden Verdampfungskurve (siehe Fig. 1, T-S-Diagramm, Verlauf von Punkt 3 zu Punkt 5) durch das Nassdampfgebiet des Arbeitsmittels mit einem hohen Anteil an Flüssigkeit.

[0006] Das kontinuierliche, gleichzeitige und räumliche Nebeneinander von:

- Reduktion des Arbeitsdruckes zur Initiierung der Expansionsverdampfung des Arbeitsmittels
- Volumenvergrößerung durch die Expansionsverdampfung des Arbeitsmittels
- Verrichten von Expansionsarbeit durch den entstehenden Dampf des Arbeitsmittels
- im Nassdampfgebiet des Arbeitsmittels mit einem hohen Flüssigkeitsanteil

stellt hohe technische Anforderungen an die verwendete Vorrichtung.

[0007] Bekannt sind verschiedene Vorrichtungen zur Umsetzung der Expansionsverdampfung eines TLC-Prozesses:

- US3,169,375 benennt Rotationsmaschinen
- US4,557,112 benennt Screw- und Vaneexpander
- US7,093,503 und DE102007041457 nennen Turbinensysteme
- DE102006015754 verweist auf Kolbenmaschinen

Die Fachliteratur benennt überdies Scrollexpander und weitere Varianten von Rotary-Vane-Expandern als Expansionsmaschine.

[0008] Diese Vorrichtungen wurden zumeist als Kompressionsmaschinen für die Komprimierung von Gasen entwickelt oder aus Maschinen für andere Wärmekraftprozesse abgeleitet und weisen für eine Expansionsverdampfung nach dem TLC-Prozess teils ungünstige Parameter auf.

Dazu gehören:

[0009]

- Die p-V-Kennlinie der Vorrichtung entspricht nicht oder nur ungenügend der p-V-Verdampfungs-kennlinie des Arbeitsmittels, was zu Umwandlungsverlusten führt
- Ein zu geringes Expansionsverhältnis von Volumen und Druck und dadurch kein vollständiges Durchlaufen der

Verdampfungskurve, was zu ungenutzter thermischer Energie führt

- hohe Spalt-Verluste an technisch bedingten Dichtflächen bei durch höhere Temperaturen bedingten höheren Arbeitsdrücken
- Schlechte Anpassung der Vorrichtung an Veränderungen der Eingangstemperatur bzw. der Kondensationstemperatur aufgrund mechanisch vorgegebener Arbeitspunkte
- Reibungsverluste
- Z.T. hohe Drehzahlen der Vorrichtung, die zusätzliche, verlustbehaftete Getriebe erfordern
- Aufwendig und teuer zu fertigende Spezialkomponenten (wie u.a. Turbinen, Screw-Expander)
- Bauteilschäden durch Tröpfchenerosion, ausgelöst durch eine schnelle, schlagartige Entspannungsverdampfung

Ein weiterer Punkt, der in der wissenschaftlichen Literatur häufig betont wird, ist die notwendige Pumpleistung, um am Anfang des Prozesses den benötigten Arbeitsdruck für das kalte flüssige Arbeitsmittel zu erzeugen, für die ein nicht geringer Teil der zuvor erzeugten Energie benötigt wird.

[0010] Bekannt sind weiterhin verschiedene Vorrichtungen mit Rohrsystemen zur Umwandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie:

- US 6 412 281
- DE 10 2018 130 412
- DE 40 35 870
- DE 29 43 686
- US 4 187 686
- US 3 953 971

Aufgabe der Erfindung

[0011] Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine technische Lösung zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in technisch nutzbare Energie unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozesses (Fig. 1) bei gleichzeitiger Beseitigung der Nachteile der bisher bekannten Vorrichtungen.

[0012] D.h. die neue technische Lösung soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- die p-V-Kennlinie der Vorrichtung entspricht der p-V-Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels
- Ein großes volumenbezogenes Expansionsverhältnis
- Ein großes druckbezogenes Expansionsverhältnis
- geringe Spaltverluste an technisch bedingten Dichtflächen
- Vermeidung einer schlagartigen Entspannungsverdampfung und dadurch ausgelöster Tröpfchenerosion
- Minimierung der zur Erzeugung des Arbeitsdruckes erforderlichen Pumpleistung
- Leichte Anpassung an Veränderungen der thermischen Umgebungsparameter wie Temperatur der Wärmequelle bzw. der Kondensationstemperatur
- Abdeckung eines großen Temperaturbereichs der Temperatur der NiedertemperaturWärmequelle und der Kondensationstemperatur

Erläuterung des Lösungsansatzes

[0013] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß wie in den Ansprüchen definiert gelöst durch eine Energiewandlungsvorrichtung sowie ein Verfahren zur Umwandlung von thermischer Energie in potentielle Energie sowie eine Vorrichtung und Verfahren mit einer zweimaligen Energiewandlung:

- Erste Wandlung: Umwandlung der thermischen Energie eines Arbeitsmittels in potentielle Energie des Arbeitsmittels durch Anheben des Arbeitsmittels von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess
- Zweite Wandlung: Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels in technisch nutzbare Energie durch Rückführung des Arbeitsmittels vom oberen auf das untere Niveau und Umwandlung des statischen Druckes des

Arbeitsmittels in mechanische Energie, z.B. in einem Hydraulikmotor / -turbine

Neu sind:

[0014]

- Die erste Energiewandlungsvorrichtung und das Verfahren zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess
- Die Vorrichtung und das Verfahren der zweimaligen Wandlung unter Verwendung der neuartigen ersten Energiewandlungsvorrichtung

[0015] Zur besseren Unterscheidbarkeit wird die erste Energiewandlungsvorrichtung nachfolgend "**Erster Energiewandler**" genannt.

[0016] Die Vorrichtung mit zweimaliger Energiewandlung wird nachfolgend als "**Gesamtsystem**" bezeichnet. Der im Gesamtsystem realisierte thermodynamische Prozess mit zweimaliger Energiewandlung wird aufgrund seiner Ähnlichkeit zum bekannten TLC-Prozess und zur besseren Unterscheidung zum Stand der Technik nachfolgend als "**TLC2-Prozess**" bezeichnet.

[0017] Die in Fig.1 benutzten Bezugszeichen des TLC-Prozesses werden beim TLC2-Prozess identisch verwendet.

Gesamtsystem mit zweimaliger Energiewandlung

[0018] Kernkomponente des Gesamtsystems 11 nach Fig. 4 ist der erste Energiewandler 21.

[0019] In Fig. 3 sind die thermodynamischen Details des TLC2-Prozesses für das Gesamtsystem 11 sowie das dazugehörige T-S und p-V-Diagramm dargestellt.

[0020] Das am Punkt 2 unter Druck stehende Arbeitsmittel wird in einem Wärmetauscher 31 durch extern zugeführte thermische Energie erwärmt und dem ersten Energiewandler 21 zugeführt.

[0021] Im ersten Energiewandler 21 zur Wandlung thermischer Energie in potentielle Energie wird der Schritt der Entspannungsverdampfung (siehe Fig.3, T-S-Diagramm) vom Arbeitspunkt 3 mit der maximalen Temperatur bis zum Arbeitspunkt 5 mit der minimalen Temperatur vollständig durchlaufen. Dadurch wird ein Maximum beim exergetischen Wirkungsgrad erreicht.

[0022] Das durch den ersten Energiewandler 21 angehobene und teilweise verdampfte Arbeitsmittel wird nach Austritt aus dem ersten Energiewandler 21 aufgefangen, der Arbeitsmitteldampf 54 kondensiert, zusammen mit dem flüssig gebliebenen Arbeitsmittel 51 gesammelt und unter Verrichtung von mechanischer Arbeit in einem zweiten Energiewandler 34 wieder zum unteren Niveau zurückgeführt. Abweichend zum ursprünglichen TLC-Prozess nach Fig. 1 gibt es beim TLC2-Prozess zwischen den thermodynamischen Punkten 1 und 2 einen weiteren Punkt 7, an dem das kalte Arbeitsmittel 51 einen höheren Druck aufweist, als nach dem TLC2-Prozess am Punkt 2 erforderlich ist.

[0023] Diese Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 des TLC2-Prozesses wird im zweiten Energiewandler 34 in technisch nutzbare Energie umgesetzt. Gleichzeitig entfällt damit die nach dem Stand der Technik erforderliche Pumpe zur Erzeugung des notwendigen Arbeitsdruckes.

[0024] Das Produkt aus Druckdifferenz und Volumen des Arbeitsmittels entspricht der im ersten Energiewandler 21 in potentielle Energie gewandelten thermischen Energie.

Der erste Energiewandler

[0025] Die physikalische und technische Grundlage für den ersten Energiewandler 21 (siehe Fig. 5a) sind jeweils durch zwei Kolben 170 begrenzte und mit warmem Arbeitsmittel AM gefüllte Arbeitsbereiche AB.

[0026] Eine Vielzahl dieser durch Kolben 170 getrennter Arbeitsbereiche sind übereinander in einem aufwärts gerichteten Rohr angeordnet (siehe Fig. 5b).

[0027] Jeder Arbeitsbereich steht dabei unter einem lokalen Arbeitsdruck pA, der durch die im Rohr über dem jeweiligen Arbeitsbereich befindlichen weiteren Arbeitsbereiche erzeugt wird.

[0028] Entsprechend der Anzahl der oberhalb eines einzelnen Arbeitsbereiches befindlichen weiteren Arbeitsbereiche und dem dadurch in einem einzelnen Arbeitsbereich herrschenden lokalen Arbeitsdruck pA ist das Arbeitsmittel AM in einer Entspannungsverdampfung bei gleichzeitiger Volumenvergrößerung teilweise verdampft und hat sich durch die Entspannungsverdampfung abgekühlt (siehe Fig. 5b).

[0029] Durch die Volumenvergrößerung werden alle darüber befindlichen Arbeitsbereiche angehoben.

[0030] Durch Zuführung neuer Arbeitsbereiche (siehe Fig. 5b) auf dem unteren Niveau des aufwärts gerichteten Rohres werden die darüber befindlichen Arbeitsbereiche soweit angehoben, dass der oberste Arbeitsbereich auf dem

oberen Niveau aus dem aufwärts gerichteten Rohr austritt. Das verringert den lokalen Arbeitsdruck p_A für alle nachfolgenden Arbeitsbereiche.

[0031] Diese Druckverringerung führt bei allen Arbeitsbereichen im Rohr zu kleinen Entspannungsverdampfungen und damit kleinen Volumenvergrößerungen jedes einzelnen Arbeitsbereichs und folglich einem Anheben aller darüber befindlichen Arbeitsbereiche.

[0032] Die Summe dieser vielen kleinen Volumenvergrößerungen ergibt eine große Volumenvergrößerung, die den obersten Arbeitsbereich stark anhebt (siehe Fig.5b - resultierende Wegänderung) und - nach Zuführung eines neuen Arbeitsbereiches auf dem unteren Niveau - auf dem oberen Niveau austreten lässt.

[0033] Damit dieser Vorgang sich kontinuierlich wiederholt, werden auf dem unteren Niveau ständig neue Arbeitsbereiche mit warmem Arbeitsmittel unter einem Dosierdruck p_D zugeführt.

Weiterentwicklung des ersten Energiewandlers

[0034] Das in Fig.5 skizzierte Prinzip des ersten Energiewandlers erfordert eine um so größere Höhe des aufwärts gerichteten Rohres - zum Aufbau des mit der Temperatur steigenden maximalen Arbeitsdrucks p_A - je größer die Temperaturdifferenz zwischen der Niedertemperaturwärmequelle und der Dampfverflüssigungstemperatur (gegeben durch die Temperatur der Wärmesenke) ist.

[0035] Es können dadurch Höhen von mehreren hundert Meter bis über 1000 Meter erforderlich werden. Dies kann gemäß einer vorteilhaften Weiterentwicklung des ersten Energiewandlers (siehe Fig. 6a-b) dadurch vermieden werden, das zwischen zwei Arbeitsbereiche AB ein zusätzlicher Gewichtsbereich GB gefüllt mit einem Gewichtsmedium 60 eingefügt wird (siehe Fig. 6a).

[0036] Das Gewichtsmedium ist im Gegensatz zum Arbeitsmittel nicht durch die Wärmequelle erwärmt. Hinsichtlich ihrer Zusammensetzung können - aber müssen nicht - Arbeitsmittel und Gewichtsmedium identisch sein, d.h. als Gewichtsmedium wird nicht erwärmtes Arbeitsmittel eingesetzt.

[0037] Das Gewichtsmedium bewirkt - bei ansonsten gleichen Abläufen wie zu Fig 5 beschrieben - durch sein Eigengewicht eine Erhöhung des Arbeitsdruckes auf jeden im aufwärts gerichteten Rohr befindlichen Arbeitsbereich AB. Damit ist es möglich - wie später gezeigt wird - die erforderliche Höhe des aufwärts führenden Rohres zum Aufbau des Arbeitsdruckes p_A deutlich zu reduzieren.

[0038] Der in Fig. 7 dargestellte Aufbau des Gesamtsystems 12 mit einem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 ist weitestgehend identisch mit dem Gesamtsystem 11 nach Fig. 4.

[0039] Neu ist die Zuführung von Gewichtsmedium zum weiterentwickelten ersten Energiewandler 22.

[0040] Die thermodynamischen Abläufe des TLC2-Prozesses nach Fig. 3 gelten auch für das Gesamtsystem 12 mit dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22.

[0041] Die durch die geringere Höhe des Gesamtsystems 12 verringerte Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 wird für den zweiten Energiewandler durch ein größeres Volumen aus Arbeitsmittel und Gewichtsmedium kompensiert (siehe Fig.7, p-V-Diagramm).

[0042] Durch Variation der Menge des Arbeitsmittels bzw. des Gewichtsmediums wird eine leichte Regelung des Gesamtsystems möglich. Von besonderem Vorteil ist, dass der weiterentwickelte erste Energiewandler auch in einer Betriebsart ohne Gewichtsmedium betrieben werden kann und damit der nutzbare Temperaturbereich hin zu niedrigeren Temperaturen und Temperaturdifferenzen ausgedehnt wird.

Leistungserhöhung durch Parallelisierung

[0043] Das Prinzip und die einfache Technik des ersten Energiewandlers und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers zur Wandlung thermischer Energie in potentielle Energie erlaubt es, beliebig viele aufwärts führende Rohre zur Energiewandlung parallel zu bauen (siehe Fig.8).

[0044] Dies hat den Vorteil, dass auch bei niedrigen Temperaturdifferenzen zwischen der Niedertemperaturquelle und der Dampfverflüssigungstemperatur und dem damit verbundenem kleinen Wirkungsgrad trotzdem große Wärmemengen umgesetzt und daraus technisch nutzbare Energie gewonnen werden kann.

[0045] Mit einer Parallelisierung sind Leistungen bis weit in den Megawattbereich erzielbar.

[0046] Mit der Nutzung des erfindungsgemäßen ersten Energiewandlers, des weiterentwickelten erfindungsgemäßen ersten Energiewandlers sowie der Parallelisierung des ersten und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers:

- Erfolgt durch das Prinzip der frei beweglichen Kolben eine selbsttätige Anpassung der p-V-Kennlinie der ersten Energiewandler an die p-V-Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels
- Ist eine stufenlose Volumenvergrößerung von mehr als 1:100 möglich (Ausgangsvolumen des flüssigen warmen Arbeitsmittels zu Endvolumen des teilverdampften gasförmigen/flüssigen kalten Arbeitsmittels)
- ist eine stufenlose Druckentspannung von mehr als 1:10 möglich

(maximaler Arbeitsdruck auf dem unteren Niveau zu minimalem Arbeitsdruck auf dem oberen Niveau)

- Wird durch einen sehr langsamen Druckabbau von mehreren Sekunden bis Minuten (Zeit zwischen Beginn und Ende der Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels) eine explosionsartige Verdampfung des Arbeitsmittels und nachfolgende Tröpfchenerosion, die zu Bauteilzerstörungen führen kann, vermieden
- Werden durch geringe Druckunterschiede von weit weniger als 0,001 MPa (0,01 bar) zwischen der Kolbenoberseite und der Kolbenunterseite die technischen Anforderungen an die Kolbendichtungen deutlich gesenkt und Spaltverluste weitestgehend reduziert
- Sind durch mehrere parallel arbeitende erste Energiewandler Leistungen bis weit in den Megawatt-Bereich möglich
- Ist durch Änderung der zugeführten Mengen des Arbeitsmittels, des Gewichtsmittels oder der Betriebsweise im weiterentwickelten ersten Energiewandler eine einfache Anpassung des TLC2-Prozesses an Veränderungen der externen Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle und/oder der Temperatur der Dampfverflüssigung möglich
- können bereits geringe Temperaturdifferenzen von 10°K zur Energiegewinnung ausgenutzt werden
- ist ein flexibler Tag/Nacht-Betrieb sowie ein flexibler Sommer/Winter-Betrieb mit Anpassung an die sich verändernden Temperaturen der Niedertemperaturwärmequelle oder der Dampfverflüssigungstemperatur möglich

[0047] Die Vorteile des erfindungsgemäßen zweistufigen Verfahrens zur Wandlung von thermischer Energie nach dem TLC2-Prozess in technisch nutzbare Energie sind:

- die thermodynamisch anspruchsvollen Vorgänge der Wandlung der thermischen Energie nach dem TLC-Prozess in eine andere Energieform werden von der Wandlung in technisch nutzbare mechanische Energie entkoppelt (vergleichbar der Trennung von Dampferzeugung und Turbine in klassischen Wärmekraftwerken)
- die technische Komplexität einer Vorrichtung zur Umwandlung thermischer Energie in technisch nutzbare Energie wird im Vergleich zum Stand der Technik deutlich reduziert, da jeder der beiden Energiewandler für seine jeweilige Aufgabe optimiert werden kann
- Der zu Prozessbeginn erforderliche Arbeitsdruck für das Arbeitsmittel und ggf. des Gewichtsmittels wird verfahrens- und vorrichtungsintern ohne die nach dem Stand der Technik erforderliche Druckpumpe erzeugt
- dies senkt die technisch bedingten Verluste, erhöht den technischen Wirkungsgrad des Gesamtsystems und bringt ökonomische Vorteile

Auflistung der Abbildungen

[0048]

- Fig. 1 - Thermodynamik des TLC-Prozesses nach dem Stand der Technik
- Fig. 2 - Prinzipaufbau eines Systems zur Nutzung des TLC-Prozesses nach dem Stand der Technik
- Fig. 3 - Thermodynamik des geänderten TLC2-Gesamtprozesses
- Fig. 4 - Darstellung Gesamtsystem 11 nach dem TLC2-Prozess
- Fig. 5 - Funktionsprinzip erster Energiewandler
- Fig. 6 - Funktionsprinzip weiterentwickelter erster Energiewandler
- Fig. 7 - Darstellung Gesamtsystem 12 nach dem TLC2-Prozess
- Fig. 8 - Darstellung Gesamtsystem 11 mit mehreren parallelen ersten Energiewandlern 21
- Fig. 9 - Thermodynamik des modifizierten M-TLC2-Prozesses
- Fig. 10 - Darstellung Gesamtsystem 13 nach dem M-TLC2-Prozess
- Fig. 11 - Darstellung Gesamtsystem 14 nach dem M-TLC2-Prozess
- Fig. 12 - Darstellung Aufbau und Funktion erster Energiewandler 21
- Fig. 13 - Darstellung Aufbau und Funktion weiterentwickelter erster Energiewandler 22
- Fig. 14 - Darstellung der Variation möglicher Betriebszustände der ersten Energiewandler 21 und 22 im T-S-Diagramm
- Fig. 15 - Darstellung möglicher Gestaltungsvarianten des Rohrsystems der ersten Energiewandler 21 und 22 auf dem unteren bzw. oberen Niveau

Auflistung der verwendeten Bezugszeichen und Abkürzungen

Bezugszeichen

[0049]

- AB - Arbeitsbereich

EP 4 303 407 A1

- AM - Arbeitsmittel
- GB - Gewichtsbereich
- 5 • GM - Gewichtsmedium
- H - Fallhöhe Arbeitsmittel
- pA - Arbeitsdruck
- 10 • pD - Dosierdruck
- pK - Kolbendruck
- 15 Ziffern 1 - 7 --- Prozesstechnische Punkte

[0050]

- Punkte bestimmter thermodynamischer und technischer Zustände in T-S und p-V Diagrammen
- 20 Ziffern 10 - 99 --- Gesamtsystem

[0051]

- 25 • 11 - Gesamtsystem zur Wandlung von Wärmeenergie in technisch nutzbare Energie
- 12 - Weiterentwickeltes Gesamtsystem zur Wandlung von Wärmeenergie in technisch nutzbare Energie
- 21 - Erster Energiewandler zur Wandlung von Wärmeenergie in potenzielle Energie
- 22 - Weiterentwickelter erster Energiewandler zur Wandlung von Wärmeenergie in potentielle Energie
- 31 - Wärmetauscher Niedertemperaturwärmequelle
- 30 • 32 - Dampfverflüssigungsvorrichtung
- 33 - Sammel- und Pufferbehälter
- 34 - Zweiter Energiewandler, potentielle in technisch nutzbare Energie
- 40 - Zuführungen, allgemein
- 41 - Zuführung Gewichtsmedium
- 35 • 42 - Zuführungen zum Druckaufbau
- 51 - Arbeitsmittel, flüssig, kalt
- 52 - Arbeitsmittel, flüssig, warm
- 53 - Arbeitsmittel, dampfförmig, warm
- 54 - Arbeitsmittel, dampfförmig, kalt
- 40 • 60 - Gewichtsmedium (z.B. als flüssiges kaltes Arbeitsmittel)

Ziffern 100 - 199 --- Erster und weiterentwickelter erster Energiewandler

[0052]

- 45 • 110 - Rohrbogen, unteres Niveau
- 120 - Einbringvorrichtung
- 121 - Einbringvorrichtung, nur Arbeitsmittel
- 122 - Einbringvorrichtung, Arbeitsmittel und Gewichtsmedium
- 50 • 125 - Kolben-Stoppvorrichtung
- 126 - Dosiervorrichtung
- 130 - Aufstiegsrohr
- 140 - Rohrbogen, oberes Niveau
- 150 - Separierungsvorrichtung
- 55 • 160 - Abstiegsrohr
- 170 - Kolben
- 171 - Kolbenstapel

Detaillierte Beschreibung des Verfahrens und der Gesamtsysteme zur Wandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie

[0053] Die nachfolgende Beschreibung stellt die Arbeitsweise des Gesamtsystems 11 (Fig.4) und des weiterentwickelten Gesamtsystems 12 (Fig.7) gemeinsam dar.

[0054] Auf Unterschiede wird im Text eingegangen. Die Beschreibung der thermodynamischen Schritte folgt dabei dem Verlauf des TLC2-Prozesses nach Fig.3.

[0055] Zum besseren Verständnis sind in den Figuren 4 und 7 das T-S-Diagramm und das p-V-Diagramm des jeweiligen Gesamtprozesses dargestellt. Die schraffierte Fläche im p-V-Diagramm entspricht dabei der in technisch nutzbare Arbeit umgesetzten thermischen Energie und ist für beide Vorrichtungen bei gleichen Eingangsparametern gleich groß.

[0056] Das erfindungsgemäße Gesamtsystem 11 (Fig.4) zur Wandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie umfasst zumindest folgende Bestandteile:

- Einen Wärmetauscher 31 zur Übertragung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle an ein unter Druck stehendes flüssiges Arbeitsmittel 51 ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- Thermisch isolierte Zuführungen 40, um das erwärmte Arbeitsmittel 52 einem ersten Energiewandler 21 zuzuführen
- Mindestens ein erfindungsgemäßer erster Energiewandler 21 zur Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels 52 unter Realisierung der Entspannungsverdampfung nach dem TLC2-Prozess in potentielle Energie
- Zuführungen 40, um den entstandenen Arbeitsmitteldampf 54 einer Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zuzuführen
- Eine Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zur Verflüssigung des verdampften Arbeitsmittels 54
- Zuführungen 40, um das im ersten Energiewandler 21 flüssig gebliebene Arbeitsmittel 51 und das in der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 wieder verflüssigte Arbeitsmittel einem Sammelbehälter 33 zuzuführen
- Ein Sammel- und Pufferbehälter 33 zur Zusammenführung des flüssig gebliebenen und des in der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 verflüssigten Arbeitsmittels
- Zuführungen 42, um das flüssige, kalte Arbeitsmittel 51 unter Druckaufbau vom Sammelbehälter 33 einem zweiten Energiewandler 34 zuzuführen
- Mindestens einen zweiten Energiewandler 34 zur Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels 51 in technisch nutzbare Energie
- Zuführungen 40, um das noch unter Dosierdruck p_D stehende Arbeitsmittel 51 vom zweiten Energiewandler 34 wieder dem Wärmetauscher 31 zuzuführen

[0057] Das erfindungsgemäße weiterentwickelte Gesamtsystem 12 (Fig.7) umfasst zumindest folgende Bestandteile:

- Einen Wärmetauscher 31 zur Übertragung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle an ein unter Druck stehendes flüssiges Arbeitsmittel 51 ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- Thermisch isolierte Zuführungen 40, um das erwärmte Arbeitsmittel 52 einem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 zuzuführen
- Mindestens ein erfindungsgemäß weiterentwickelter erster Energiewandler 22 zur Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels 52 unter Realisierung der Entspannungsverdampfung nach dem TLC2-Prozess in potentielle Energie
- Zuführungen 40, um den entstandenen Arbeitsmitteldampf 54 einer Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zuzuführen
- Eine Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zur Verflüssigung des verdampften Arbeitsmittels 54
- Zuführungen 40, um das im ersten Energiewandler 22 flüssig gebliebene Arbeitsmittel 51, das Gewichtsmedium 60 und das in der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 wieder verflüssigte Arbeitsmittel 51 einem Sammelbehälter zuzuführen
- Ein Sammel- und Pufferbehälter 33 zur Zusammenführung des flüssig gebliebenen, des in der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 verflüssigten Arbeitsmittels sowie des Gewichtsmediums
- Zuführungen 42, um das flüssige, kalte Arbeitsmittel unter Druckaufbau vom Sammelbehälter einem zweiten Energiewandler 34 zuzuführen
- Einen zweiten Energiewandler 34 zur Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels 51 in technisch nutzbare Energie
- Zuführungen 40, um das noch unter Dosierdruck stehende Arbeitsmittel 51 vom zweiten Energiewandler 34 wieder dem Wärmetauscher 31 zuzuführen
- Zuführungen 41 zur Zuführung von unter Dosierdruck stehendem kaltem Arbeitsmittel 51 als Gewichtsmedium 60 zum ersten Energiewandler 22

[0058] Nicht in den Abbildungen dargestellt werden verschiedene Hilfs- und Zusatzsysteme, da ihre Position und Funktion vielfältig gelöst werden kann. Hilfs- und Zusatzsysteme können z.B. sein:

- Absaugvorrichtungen für nicht kondensierbare Gase
- ggf. Trennvorrichtungen für die Trennung von Arbeitsmittel und Gewichtsmedium
- Filtersysteme zur Reinigung des Arbeitsmittels von Fremdstoffen (z.B. Abrieb)
- Meßsensoren und Prozess-Steuerungs- und Regeltechnik
- Wärmespeicher

[0059] In beiden Gesamtsystemen 11 und 12 erfolgt die Umwandlung der thermischen Energie in technisch nutzbare Energie nach dem TLC2-Prozess (siehe Fig. 3) in den Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Isobares Erwärmen (Fig.3: Pkt.2 - Pkt.3) des unter Dosierdruck stehenden flüssigen Arbeitsmittels aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt b:** Isentrope Umwandlung (Fig.3: Pkt.3 - Pkt.5) der aufgenommenen thermischen Energie in einem ersten Energiewandler 21 oder 22 in potentielle Energie
- **Schritt c:** Isobares Kondensieren (Fig.3: Pkt.5 - Pkt.1) des verdampften Anteils des Arbeitsmittels
- **Schritt d:** Isochore Umwandlung (Fig.3: Pkt.1 - Pkt.7) der potentiellen Energie über die Fallhöhe H in statischen Druck
- **Schritt e:** Isochore Umwandlung (Fig.3: Pkt.7 - Pkt.2) eines Teils des statischen Druckes im zweiten Energiewandler 34 in technisch nutzbare mechanische Energie

Thermodynamischer Punkt 2

[0060] Startpunkt des Energieumwandlungsprozesses ist Punkt 2 des TLC2-Prozesses (siehe Fig.3, T-S- und p-V-Diagramm) im unteren Bereich der Gesamtsysteme 11 bzw. 12 (siehe Fig. 4 und 7).

[0061] Das kalte flüssige Arbeitsmittel 51 steht unter Druck und wird durch Zuführungen 40 dem Wärmetauscher 31 zur Aufnahme von thermischer Energie der Niedertemperaturwärmequelle zugeführt und darin erwärmt ohne zu verdampfen.

[0062] Als Niedertemperaturwärmequelle können neben Erdwärme, Meereswärme, Solarwärme, Abwärme aus technischen Prozessen (z.B. Stahl- und Kunststoffindustrie), Wärme aus Kühlprozessen (z.B. Kühlhäuser, Rechenzentren) auch Wärme aus Verbrennungsprozessen (z.B. Reststoffverbrennung, Biogas) oder Restwärme anderer Prozesse (z.B. chemische Industrie) genutzt werden.

[0063] Als Arbeitsmittel können hierbei, je nach Temperaturniveau und Temperaturdifferenz zwischen der genutzten Niedertemperaturwärmequelle und der verfügbaren Kondensationstemperatur, alle organischen und anorganischen Stoffe sowie Stoffmischungen zur Anwendung kommen, die den Temperaturbereich von der maximalen Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle bis zur minimalen Temperatur der Dampfverflüssigung als Flüssigkeit ohne thermische Zersetzung und ohne zu gefrieren abdecken.

[0064] Bei der Auswahl des Arbeitsmittels ist zu beachten, dass chemische Reaktionen des Arbeitsmittels mit einzelnen Bestandteilen des Gesamtsystems vermieden werden.

Thermodynamischer Punkt 3

[0065] Das aus dem Wärmetauscher 31 austretende erwärmte Arbeitsmittel 52 fließt anschließend durch thermisch isolierte Zuführungen 40 dem ersten Energiewandler 21 (Fig.4, Gesamtsystem 11) bzw. dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 (Fig.7, Gesamtsystem 12) zu.

[0066] Im weiterentwickelten Gesamtsystem 12 (Fig.7) fließt zusätzlich kaltes Arbeitsmittel als Gewichtsmedium 60 durch Zuführungen 41 dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 zu.

Thermodynamische Punkte 4' und 4"

[0067] In dem ersten Energiewandler 21 (Fig.4, Gesamtsystem 11) bzw. dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 (Fig.7, Gesamtsystem 12) wird die aufgenommene thermische Energie des warmen flüssigen Arbeitsmittels 52 entsprechend dem TLC2-Prozess (siehe Fig.3, Punkte 4' und 4") durch Verrichten von Volumenänderungsarbeit in Form von Hubarbeit in potentielle Energie umgewandelt.

[0068] Das Arbeitsmittel und das Gewichtsmedium (letzteres nur Gesamtsystem 12) werden vom unteren zum oberen Bereich angehoben.

Thermodynamischer Punkt 5

[0069] Im oberen Bereich des ersten Energiewandlers 21 bzw. 22 ist das Arbeitsmittel entsprechend dem TLC2-Prozess (siehe Fig.3: Verlauf Pkt. 4' und 4'') teilweise verdampft und insgesamt abgekühlt. Der noch flüssige Anteil des kalten Arbeitsmittels 51 verlässt auf dem oberen Niveau (Punkt 5) in Gesamtsystem 11 (Fig.4) bzw. Gesamtsystem 12 (Fig.7) den ersten Energiewandler 21 bzw. 22 und fließt dem Sammelbehälter 33 zu.

[0070] Im weiterentwickelten Gesamtsystem 12 (Fig.7) fließt das Gewichtsmedium 60 ebenfalls direkt dem Sammelbehälter 33 zu und vergrößert das Volumen des flüssigen kalten Arbeitsmittels 51.

Thermodynamischer Punkt 6

[0071] Der verdampfte und abgekühlte Anteil des Arbeitsmittel 54 verlässt in beiden Gesamtsystemen 11 und 12 ebenfalls den ersten Energiewandler 21 bzw. 22, strömt der Dampfverflüssigungseinrichtung 32 zu und wird hier unter Verminderung der Entropie (Punkt 6) wieder verflüssigt. Ggf. entstandene nicht kondensierbare Gase werden hier abgesaugt.

[0072] Das wieder flüssige kalte Arbeitsmittel 51 fließt ebenfalls dem Sammelbehälter 33 zu.

Thermodynamischer Punkt 1

[0073] Mit Eintritt des flüssigen, kalten Arbeitsmittels in den Sammelbehälter 33 ist in beiden Gesamtsystemen 11 und 12 der Punkt 1 des TLC2-Prozesses erreicht.

[0074] Die zuvor aufgenommene thermische Energie ist umgewandelt, das kalte Arbeitsmittel 51 (inkl. dem ehemaligen Gewichtsmedium 60) besitzt jetzt potentielle Energie.

Thermodynamischer Punkt 7

[0075] Zur Umwandlung der potentiellen Energie in technisch nutzbare Energie fließt das kalte Arbeitsmittel 51 - in Gesamtsystem 12 auch das Gewichtsmedium 60 - durch druckstabile Zuführungen 42 unter Druckaufbau dem zweiten Energiewandler 34 zu.

[0076] Am Eingang des zweiten Energiewandlers 34 erzeugt die Flüssigkeitssäule einen hohen Druck (Punkt 7). Dieser Druck wird im zweiten Energiewandler 34 teilweise in mechanische Energie umgesetzt, die nachfolgend z.B. in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt, aber auch als mechanische Energie zum Antrieb von Maschinen verwendet werden kann.

Thermodynamischer Punkt 2

[0077] Das kalte Arbeitsmittel 51 verlässt den zweiten Energiewandler 34 unter einem verbleibenden Restdruck, nachfolgend als Dosierdruck p_D bezeichnet. Dieser Dosierdruck p_D entspricht Punkt 2 des TLC2-Prozesses und ist so hoch, dass das Arbeitsmittel 51 nachfolgend bei der erneuten Aufnahme von thermischer Energie im Wärmetauscher 31 nicht zu verdampfen beginnt.

[0078] In Gesamtsystem 11 wird das gesamte Arbeitsmittel 51 erneut dem Wärmetauscher 31 zugeführt.

[0079] In Gesamtsystem 12 wird ein Teil des kalten Wärmemediums 51 als Gewichtsmedium 60 abgetrennt und direkt dem ersten Energiewandler 22 zugeführt. Das restliche Arbeitsmittel 51 wird erneut dem Wärmetauscher 31 zugeführt.

[0080] Damit ist der Startpunkt des Energieumwandlungsprozesses erreicht und der Kreislauf geschlossen.

Vergleich der Gesamtsystems 11 und 12

[0081] Bei Vergleich der p-V-Diagramme der Gesamtsysteme 11 und 12 (Fig.4 und 7) ist erkennbar, dass beim Gesamtsystem 12 der größere Teil der technisch nutzbaren Energie bei deutlich verringerter Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 aus dem Volumen des Arbeitsmittels 51 gewonnen wird. Entsprechend dem Volumen des eingesetzten Gewichtsmediums 60 ist die Bauhöhe des ersten Energiewandlers 22 reduziert (im Vergleich zum ersten Energiewandler 21), dies stellt sich als reduzierte Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 des p-V-Diagramms des Gesamtsystems 12 (im Vergleich zum Gesamtsystem 11) dar.

[0082] Bei gleicher Menge an zugeführter thermischer Energie wird in den Gesamtsystemen 11 und 12 jedoch immer die gleiche Menge an technisch nutzbarer Energie erzeugt.

Leistungssteigerung

[0083] Zur Steigerung der Leistung der Gesamtsysteme 11 und 12 können mehrere erste Energiewandler 21 bzw. weiterentwickelte erste Energiewandler 22 parallel genutzt werden (siehe Fig. 6 - dargestellt am Beispiel für Gesamtsystem 11). Dabei kann die Anzahl der ersten Energiewandler beliebig hoch sein. Eine entsprechende Anpassung der Leistungsfähigkeit der gemeinsam genutzten Komponenten Wärmetauscher 31, Dampfverflüssiger 32, Sammelbehälter 33 sowie des zweiten Energiewandlers 34 wird dabei vorausgesetzt.

[0084] Durch Abschaltung einzelner erster Energiewandler 21 bzw. 22 über einen Stop der Zuführung von Arbeitsmittel ist eine einfache Anpassung der Leistung der ersten Energiewandler 21 bzw. 22 an die Menge der verfügbaren thermischen Energie möglich. Eine Verwendung mehrerer, einzeln abschaltbarer Energiewandler 34 ist dabei vorteilhaft.

Nutzbarer Temperaturbereich

[0085] Die Arbeitsweise der Gesamtsysteme 11 und 12 basiert nur auf dem Druckunterschied zwischen dem Dampfdruck bei maximaler Arbeitstemperatur und dem Dampfdruck bei Dampfverflüssigungstemperatur.

[0086] Gesamtsystem 11 ist hierbei besonders vorteilhaft für geringe Temperaturdifferenzen, Gesamtsystem 12 für höhere Temperaturdifferenzen.

[0087] Insbesondere dadurch, dass das weiterentwickelte Gesamtsystem 12 durch entsprechende Steuerung wie ein Gesamtsystem 11 betrieben werden kann, wird der Einsatzbereich des Gesamtsystems 12 wesentlich erweitert.

Weiternutzung der Kondensationswärme

[0088] Durch den breiten nutzbaren und variablen Temperaturbereich ist bei einer entsprechenden Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle auch eine Weiternutzung der Kondensationswärme möglich.

[0089] So kann z.B. bei einer maximalen Arbeitstemperatur von 150°C und einer Kondensationstemperatur von 70°C die Kondensationswärme Heizungswasser erwärmen.

[0090] Die erzeugte Energiemenge des Gesamtsystems sinkt entsprechend. Der exergetische Wirkungsgrad des Gesamtsystems verändert sich entsprechend dem Grad der Nutzung der Kondensationswärme.

Beschreibung der Gesamtsysteme 13 und 14 zur Wandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie als spezielle Ausführungen der Gesamtsysteme 11 und 12

[0091] In Abhängigkeit von der Art der Niedertemperaturwärmequelle und dem Ort der Bereitstellung der Niedertemperaturwärme sind spezielle Ausführungen der Gesamtsysteme 11 und 12 möglich. In Fig. 10 (Gesamtsystem 13) und Fig. 11 (Gesamtsystem 14) ist eine bevorzugte Anordnung zur Nutzung von Niedertemperaturwärme aus solarthermischer Erwärmung, aber auch aus Rauchgasen oder Kühlmitteldämpfen dargestellt.

[0092] Gesamtsystem 13 ist eine Weiterentwicklung des Gesamtsystems 11. Gesamtsystem 14 ist eine Weiterentwicklung des Gesamtsystems 12.

[0093] Gemeinsames Merkmal der Gesamtsysteme 13 und 14 ist, dass der Wärmetauscher 31 zum Einbringen der Niedertemperaturwärme zwischen dem Sammelbehälter 33 und dem zweiten Energiewandler 34 angeordnet ist und sich über die Fallhöhe H erstreckt.

[0094] Das zu erwärmende Arbeitsmittel 51 durchläuft hierbei unter gleichzeitigem Druckaufbau den Wärmetauscher 31 und wird als bereits erwärmtes Arbeitsmittel 52 dem zweiten Energiewandler 34 zugeführt. Nach Austritt des warmen Arbeitsmittels aus dem zweiten Energiewandler 34 kommt es zu keiner Verdampfung aufgrund des verbleibenden hohen Dosierdrucks pD. Anschließend wird das erwärmte Arbeitsmittel direkt dem ersten Energiewandler 21 bzw. 22 zugeführt.

[0095] In Fig.9 ist der in Gesamtsystem 13 bzw. 14 genutzte modifizierte zweistufige Tri-Lateral-Cycle-Prozess (nachfolgend als M-TLC2 bezeichnet) dargestellt. Der Punkt 2 des ursprünglichen TLC2-Prozesses nach Fig. 3 entfällt und Punkt 7 erhält eine geänderte Position im neuen M-TLC2-Prozess. Die Umsetzung der thermischen Energie in technisch nutzbare Energie erfolgt im M-TLC2-Prozess in den Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Isentrope Umwandlung (Fig.3: Pkt. 4' und 4'') der thermischen Energie des erwärmten Arbeitsmittels in einem ersten Energiewandler 21 oder 22 in potentielle Energie
- **Schritt b:** Isobares Kondensieren (Fig.3: Pkt.5 - Pkt.1) des verdampften Anteils des Arbeitsmittels
- **Schritt c:** Isochores Erwärmen (Fig.3: Pkt.1 - Pkt.7) des flüssigen Arbeitsmittels bei gleichzeitigem Aufbau von statischem Druck über die Fallhöhe H aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt d:** Isochore Umwandlung (Fig.3: Pkt.7 - Pkt.3) eines Teils des statischen Druckes im zweiten Energiewandler 34 in technisch nutzbare mechanische Energie

[0096] Der thermodynamische Ablauf des M-TLC2-Prozesses stellt sich im p-V-Diagramm optisch ähnlich dar, im Vergleich zum TLC2-Prozess ändert sich wenig.

[0097] Anders im T-S-Diagramm, wo der fehlende Punkt 2 und die geänderte Position von Punkt 7 die neue Anordnung des Wärmetauschers und den dadurch geänderten Verlauf darstellt.

[0098] Zum besseren Verständnis sind in den Figuren 10 und 11 das T-S-Diagramm und das p-V-Diagramm des jeweiligen Gesamtprozesses dargestellt. Die schraffierte Fläche im p-V-Diagramm entspricht dabei der in technisch nutzbare Arbeit umgesetzten thermischen Energie und ist für beide Gesamtsysteme bei gleichen Eingangsparametern gleich groß.

Detaillierte Beschreibung der Funktion des ersten Energiewandlers 21 bzw. des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 22 zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie

[0099] Die nachfolgende Beschreibung stellt die Arbeitsweise des ersten Energiewandlers 21 (Fig.12) und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 22 (Fig.13) dar. Auf Unterschiede wird im Text eingegangen.

[0100] Die physikalischen und technischen Grundlagen sind bereits zuvor in Fig. 5 und Fig 6 dargestellt und beschrieben. Die nachfolgende Beschreibung folgt dem Verlauf des TLC2-Prozesses nach Fig.3 bzw. des M-TLC2-Prozesses nach Fig.9 zwischen den Punkten 3 und 5.

[0101] Der erfindungsgemäße erste Energiewandler 21 (Fig.12) zur isentropen Wandlung von thermischer Energie eines unter Druck stehenden, erwärmten flüssigen Arbeitsmittels in potentielle Energie unter Realisierung einer teilweisen Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess umfasst zumindest die Bestandteile:

- Ein geschlossenes, thermisch isoliertes, aufwärts gerichtetes Rohrsystem mit einem Aufstiegsrohr 130 und einem Abstiegsrohr 160 verbunden durch einen unteren Rohrbogen 110 und einen oberen Rohrbogen 140
- Eine große Anzahl von in dem Rohrsystem frei umlaufende, mit einer Dichtung versehene, nicht kippende Kolben 170, die die Räume oberhalb und unterhalb des Kolbens voneinander trennen sowie im Abstiegsrohr 160 einen Kolbenstapel 171 bilden
- Einbringöffnungen im Rohrsystem und einer Einbringvorrichtung 121 im unteren Bereich des Energiewandlers zum Einbringen von warmen Arbeitsmittel 52
- Auslassöffnungen im Rohrsystem und einer Separierungsvorrichtung 150 im oberen Bereich des Rohrsystems zum Auslassen des flüssigen und verdampften Arbeitsmittels 51 und 54

Der erfindungsgemäße weiterentwickelte erste Energiewandler 22 (Fig.13) umfasst die gleichen Bauteile wie der erste Energiewandler 21 sowie zusätzlich:

- eine erweiterte Einbringvorrichtung 122 auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum zusätzlichen Einbringen von Gewichtsmedium 60

[0102] Nicht in den Abbildungen dargestellt werden verschiedene Hilfs- und Zusatzsysteme, da ihre Position und Funktion vielfältig gelöst werden kann. Hilfs- und Zusatzsysteme können z.B. sein:

- Startvorrichtung zur initialen Inbetriebsetzung des Prozesses
- Serviceeinrichtungen zum Befüllen des Energiewandlers mit Kolben und Arbeitsmittel, Austausch defekter Kolben oder Reinigung des Arbeitsmittels (z.B. Abrieb)
- Meßsensoren sowie Prozesssteuerungs- und Regeltechnik
- Wärmespeicher

Schritt 1 - Einbringen der Medien

[0103] Startpunkt der Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie ist im unteren Bereich des Rohrsystems, - beispielhaft dargestellt - im unteren Rohrbogen 110.

[0104] Aus dem Abstiegsrohr 160 werden Kolben 170, die unter dem Druck p_K des nachfolgenden Kolbenstapels 171 stehen, in die Einbringvorrichtungen 121 (Fig.12) bzw. 122 (Fig.13) geschoben. Der Druck p_K des Kolbenstapels 171 aus dem Abstiegsrohr 160 ist hierbei größer als der maximale Arbeitsdruck p_A .

[0105] Der Einbringvorrichtung 121 bzw. 122 wird von außen das unter einem Dosierdruck p_D - der größer ist als der maximale Arbeitsdruck p_A - stehende erwärmte Arbeitsmittel 52 zugeführt.

[0106] In der Einbringvorrichtung 121 bzw. 122 wird anschließend das erwärmte Arbeitsmittel 52 zwischen zwei Kolben 170 eingebracht. Dieser Bereich wird damit zu einem Arbeitsbereich AB.

[0107] Zusätzlich kann in Einbringvorrichtung 122 (Fig.13) des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 22 kaltes

Arbeitsmittel als Gewichtsmedium 60 zwischen zwei Arbeitsbereiche AB eingebracht werden. Ein mit Gewichtsmedium 60 gefüllter Bereich wird damit zu einem Gewichtsbereich GB.

[0108] Die Menge der zugeführten Medien und der Zeitpunkt der Einbringung werden durch Dosiervorrichtungen 126 gesteuert.

[0109] Zum sicheren Einbringen des Arbeitsmittels bzw. des Gewichtsmediums können in den Einbringvorrichtungen 121 und 122 einzelne Kolben 170 von einer Kolbenstoppvorrichtung 125 kurzzeitig angehalten werden. Nach Freigabe der gestoppten Kolben 170 werden die eingebrachten Bereiche durch den Druck der nachfolgenden Kolben 170 bzw. der nächsten eingebrachten Bereiche in das Aufstiegsrohr 130 geschoben.

[0110] Die Kolben 170 schaffen dabei für das erwärmte Arbeitsmittel bzw. das Gewichtsmedium eine räumliche und thermisch isolierte Abgrenzung zu den vorhergehenden bzw. nachfolgenden Bereichen.

[0111] Grundsätzlich ist es nicht notwendig, für den weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 den Bereichen zwischen zwei Kolben jeweils eine spezifische Zuordnung zu Arbeitsbereich oder Gewichtsbereich zu geben. Jeder Bereich zwischen zwei Kolben kann Arbeitsbereich oder Gewichtsbereich sein.

[0112] Aus technischer Sicht kann es aber sinnvoll sein, die Kolben unterschiedlich zu gestalten und damit explizite Arbeits- und Gewichtsbereiche zwischen den Kolben zu spezifizieren.

[0113] Mögliche Gründe sind z.B.:

- Das vereinfachte, getrennte Einbringen von Arbeitsmittel 52 und Gewichtsmedium 60
- Bessere Steuerungsmöglichkeiten des Energiewandlers

Schritt 2 - Umwandlung der thermischen Energie in potentielle Energie

[0114] Nach Eintritt der Arbeitsbereiche AB bzw. Gewichtsbereiche GB (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 22) in das Aufstiegsrohr 130 beginnt, wie im Zusammenhang mit Fig.5 und 6 erläutert, eine langsame Verringerung des auf dem oberen Kolben lastenden Arbeitsdruckes pA. Die erfindungsgemäß bevorzugte Ausführung des Aufstiegsrohres 130 ist senkrecht ohne Richtungsänderung. Das allgemeine Grundprinzip des Druckaufbaus erlaubt aber auch eine schräge, schraubenförmige oder andere aufwärts gerichtete Gestaltung des Aufstiegsrohres 130.

[0115] Nach Unterschreiten eines von der Temperatur und der Dampfdruckkurve des warmen Arbeitsmittels abhängigen Arbeitsdrucks pA beginnt das Arbeitsmittel 52 in einer Entspannungsverdampfung zu verdampfen, so dass warmer Arbeitsmitteldampf 53 gebildet wird. Dadurch kommt es zu einer Volumenvergrößerung des Arbeitsbereiches bei gleichzeitiger Abkühlung des Arbeitsmittels.

[0116] Durch diese Volumenvergrößerung werden im Aufstiegsrohr alle oberhalb dieses Arbeitsbereiches befindlichen Arbeits- bzw. Gewichtsbereiche (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 22) angehoben.

[0117] Bei einer hinreichend großen Volumenvergrößerung führt dies zu einem Austritt von kaltem Arbeitsmitteldampf 54, kaltem Arbeitsmittel 51 und im weiterentwickelten ersten Energiewandler 22 auch Gewichtsmedium 60 im oberen Bereich des Rohrsystems - beispielhaft dargestellt im oberen Rohrbogen 140 - in die Separationsvorrichtung 150.

[0118] Durch den Austritt der Medien in die Separationsvorrichtung 150 verringert sich der Arbeitsdruck pA, der auf den im Aufstiegsrohr 130 verbliebenen Arbeits- und Gewichtsbereichen (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 22) lastet. Das führt in den noch im Aufstiegsrohr 130 befindlichen Arbeitsbereichen AB zu einer weiteren Entspannungsverdampfung des noch flüssigen warmen Arbeitsmittels 52, einem Ausdehnen des bereits vorhandenen warmen, unter Druck stehenden Arbeitsmitteldampfes 53, einer damit verbundenen Volumenvergrößerung der Arbeitsbereiche und dem Anheben aller oberhalb eines einzelnen Arbeitsbereiches befindlichen Bereiche.

[0119] Der beschriebene Ablauf von

- Austritt von Medien im oberen Bereich des Rohrsystems
- einer dadurch initiierten Druckverringerung im Aufstiegsrohr 130
- einer nachfolgenden Entspannungsverdampfung von warmen Arbeitsmittel 52
- Ausdehnen des bereits vorhandenen warmen Arbeitsmitteldampfes 53
- Anheben der Bereiche im Aufstiegsrohr 130

wiederholt sich stetig durch Zuführung neuer Bereiche in den Einbringvorrichtungen 121 bzw. 122. Dadurch unterliegt das warme Arbeitsmittel 52 während des Aufstiegs im Aufstiegsrohr 130 einer kontinuierlichen Entspannungsverdampfung bei gleichzeitiger Abkühlung von flüssigem Arbeitsmittel 52 und dem bereits entstandenen Arbeitsmitteldampf 53.

[0120] Am Ende des Aufstiegs ist das Arbeitsmittel 52 teilweise verdampft und bis auf Kondensationstemperatur abgekühlt. Der entstandene Arbeitsmitteldampf 54 ist unter Volumenvergrößerung und Abkühlung bis auf Kondensationsdruck entspannt.

[0121] Durch das Prinzip der frei beweglichen Kolben 170 gibt es keine mechanisch vorgegebene p-V-Kennlinie des ersten (21) und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers (22). Das bedeutet, die p-V-Kennlinie der ersten Ener-

giehwandler ist variabel und passt sich aufgrund des sich selbst regulierenden Arbeitsdruckes p_A jedes einzelnen Arbeitsbereiches und der dadurch erzwungenen Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels selbsttätig der p - V -Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels im genutzten Temperaturbereich an.

[0122] Vergleichbares ist mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht möglich.

5

Gleichfalls ist damit

[0123]

- 10 • eine stufenlose Volumenvergrößerung von mehr als 1:100 - bezogen auf das Ausgangsvolumen des flüssigen warmen Arbeitsmittels zum Endvolumen des teilverdampften gasförmigen/flüssigen kalten Arbeitsmittels - sowie
- eine stufenlose Druckentspannung von weit mehr als 1:10 - bezogen auf den maximalen Arbeitsdruck auf dem unteren Niveau zum minimalen Arbeitsdruck auf dem oberen Niveau - möglich

15 Schritt 3 - Trennung und Ausbringung der Medien

[0124] Nach dem Austritt des Arbeitsmitteldampfes 54, des abgekühlten, flüssig verbliebenen Arbeitsmittels 51 bzw. Gewichtsmedium 60 (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 22) im oberen Rohrbogen 140 aus dem Rohrsystem werden die Medien in der Separationsvorrichtung 150 getrennt.

20 [0125] Das flüssig verbliebene Arbeitsmittel 51 wird aufgefangen, gesammelt und dem Sammelbehälter 33 zugeführt. Im weiterentwickelten Energiewandler 22 wird das flüssig verbliebene Arbeitsmittel 51 gemeinsam mit dem Gewichtsmedium 60 aufgefangen.

[0126] Der Arbeitsmitteldampf 54 wird durch entsprechende Zuführungen 40 der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zugeführt. Evtl. vom Arbeitsmitteldampf mitgerissene Arbeitsmittel-Tröpfchen werden in der Separationsvorrichtung 150
25 abgeschieden und dem Sammelbehälter 33 zugeführt.

Schritt 4 - Rückführung der Kolben

30 [0127] Die nach Austritt der Medien aus dem Rohrsystem funktionslosen Kolben 170 werden weiter zum Abstiegsrohr 160 geführt. Dort wird durch das Eigengewicht der Kolben der restliche Arbeitsmitteldampf 54 durch dafür vorgesehene Auslassöffnungen aus dem Rohrsystem in die Separationsvorrichtung 150 gedrückt.

[0128] Die Kolben 170 werden als Kolbenstapel 171 zusammengeführt und erzeugen durch ihr Eigengewicht den in den Einbringvorrichtungen 121 und 122 benötigten Kolbendruck p_K .

35 [0129] Der erfindungsgemäße Aufbau der ersten Energiewandler 21 und 22 als geschlossenes Rohrsystem mit freilaufenden Kolben eröffnet die Möglichkeit einer Energiewandlung von thermischer in potentielle Energie mit einem sehr großen und variablen Arbeitsbereich hinsichtlich der möglichen Volumenvergrößerung und dem abzubauenen Arbeitsdruck.

[0130] Die durch das Prinzip einzelner kleiner Arbeitsbereiche realisierbare stufenlose und variable Entspannungsverdampfung eines Arbeitsmittels ist nur mit einer sehr fein gestuften Turbine vergleichbar.

40 [0131] Der besondere Vorteil der Vielzahl einzelner Arbeitsbereiche ist die damit verbundene lange Zeit (im Vergleich zum Stand der Technik) vom Beginn der Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels bis zum Austritt auf dem oberen Niveau (siehe Fig.3, Punkt 3-5 des T-S-Diagramms).

[0132] Bei einer Anzahl von maximal 5 neu zugeführten Arbeitsbereichen je Sekunde, (idealerweise weniger als einem Arbeitsbereich je Sekunde) und einer zum Druckaufbau im Rohr erforderlichen Anzahl von mindestens 10 Arbeitsbereichen ergibt sich eine relativ lange Zeit der Entspannungsverdampfung von 2-10 Sekunden (bei höheren Temperaturen des warmen Arbeitsmittels 52 wegen der größeren Anzahl an Arbeitsbereichen bis zu einigen Minuten), was mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht erreichbar ist.

[0133] Durch diese lange Zeit der Entspannungsverdampfung wird eine explosionsartige Dampfblasenbildung, die bei Vorrichtungen nach dem Stand der Technik durch Tröpfchenerosion eine große Gefahr darstellt, vermieden.

50 [0134] Als weiterer Vorteil kann die Entspannungsverdampfungskurve im T-S-Diagramm nach Fig. 3 und Fig. 9 von Punkt 3 bis Punkt 5 sicher und vollständig durchlaufen und die aufgenommene thermische Energie vollständig umgesetzt werden.

[0135] In Fig.14 sind ergänzend dazu verschiedene Szenarien als T-S-Diagramme dargestellt.

55 Fig. 14a - Verlauf unter Basis-Betriebsbedingungen definiert durch die Temperatur der Wärmequelle und der Dampfverflüssigungstemperatur

Fig. 14b - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen erhöhter Temperatur der Wärmequelle (Bsp.: Nut-

zung von Solarthermie als Wärmequelle im Sommer) Der Ausgangspunkt der Entspannungsverdampfung (Punkt 3) ist nach oben verschoben. Es wird mehr thermische Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.

- 5 Fig. 14c - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen erhöhter Dampfverflüssigungstemperatur (Bsp.: Nutzung von Erdwärme als Wärmequelle und Kühlung durch Umgebungsluft im Sommer) Die Kondensationslinie von Punkt 5 zu Punkt 1 ist nach oben verschoben. Die Entspannungskurve von Punkt 3 zu Punkt 5 ist verkürzt. Es wird weniger Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.
- 10 Fig. 14d - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen erhöhter Temperatur der Wärmequelle und erhöhter Dampfverflüssigungstemperatur (Bsp.: Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle und Kühlung durch Umgebungsluft im Sommer) Je nach Temperaturdifferenz zwischen den Punkten 2 und 3 wird mehr oder auch weniger thermische Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.
- 15 **[0136]** Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Gestaltung des umlaufenden Rohrsystems und der Kolben. Die Rohre zur Führung der Kolben sind mit einer gut gleitfähigen thermischen Innenisolation wie z.B. PTFE oder Polyamid (PA) versehen.
- [0137]** Die Kolben selber sind an den Dichtflächen mit einem zum Material der Innenisolation des Rohres passenden Dichtungs- und Gleitmaterial versehen, das sowohl eine Abdichtung der Bereiche als auch eine thermische Isolation
- 20 gewährleistet.
- [0138]** Innerhalb eines Arbeitsbereiches kommt es durch den Kontakt des Arbeitsmittels mit der Rohrwand und dem Abstreifen des Arbeitsmittels durch den Kolben von der Rohrwand zu Verwirbelungen und einer intensiven Durchmischung des Arbeitsmittels. Das fördert die Verdampfung des Arbeitsmittels.
- [0139]** Durch eine geeignete Gestaltung des Kolbens und der Kolbendichtung kann diese Verwirbelung zusätzlich
- 25 gefördert werden.
- [0140]** Die Kolben weisen zudem vorzugsweise eine aufgeraute, poröse Oberfläche auf, die eine Blasenbildung beim Verdampfen des Arbeitsmittels fördert (vergleichbar der Wirkung von Siedesteinchen).
- [0141]** Da aufgrund der erfindungsgemäßen Konstruktion an den Kolben nur sehr geringe Druckunterschiede von weniger als 0,001 MPa (0,01bar) auftreten (Druckunterschied = Kolbengewicht/Fläche), liegt die Hauptaufgabe der
- 30 Kolbendichtung in einer Stützfunktion, um ein Kippen der Kolben im Rohrsystem zu verhindern. Dies ist durch ein geeignetes Kolbendesign möglich. Entsprechende Kolbendesigns sind dem Fachmann bekannt.
- [0142]** Unterstützend beim Kolbendesign ist der Rohrquerschnitt. Neben einem kreisförmigen Querschnitt weisen nicht kreisförmige Rohrquerschnitte (z.B. Ellipse oder Oval) Vorteile z.B. bei der Gestaltung der Einbringvorrichtung bzw. der Austrittsöffnungen und anderer Aufgaben auf.
- 35 **[0143]** Eine Ausführung des unteren und oberen Abschnittes des umlaufenden Rohrsystems als horizontale Zone mit konstantem Druck (Beispiele siehe Fig. 15) in Kombination mit einem nicht kreisförmigen Rohrquerschnitt erleichtert die technische Gestaltung der Einbringvorrichtung 120 und der Separierungsvorrichtung 150.

Prozessbeispiele

- 40 **[0144]** Wie in Tabelle 1 exemplarisch aufgeführt, können mit dem Gesamtsystem 11 nach Fig.4 bereits geringe Temperaturunterschiede von 10°K nutzbar gemacht werden.
- [0145]** Die aufgrund der Temperaturdifferenz thermodynamisch gegebene geringe Druckdifferenz von nur 0,033 MPa (0,33bar) zwischen dem maximalen Arbeitsdruck und dem Dampfverflüssigungsdruck im erfindungsgemäßen ersten Energiewandler 21 wird in eine technisch gut nutzbare Druckdifferenz von 0,25 MPa (2,5bar) für den zweiten Energiewandler 34 umgesetzt.
- [0146]** Vergleichbares ist mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht realisierbar.
- [0147]** Der erfindungsgemäße Einsatz des weiterentwickelten Energiewandlers 22 nach Fig.13 mit zusätzlichen Gewichtsbereichen bei höheren Eingangstemperaturen senkt die technisch notwendige Höhe zum Aufbau des maximalen Arbeitsdruckes pA zwischen dem unteren und dem oberen Niveau, wie bereits in der Erläuterung zu Fig. 6 und Fig.7
- 50 dargestellt.
- [0148]** In Tabelle 2 ist exemplarisch ein Vergleich der Gesamtsysteme 11 (ohne Gewichtsmedium) und 12 (mit Gewichtsmedium) bei ansonsten gleichen Eingangsparametern dargestellt.
- [0149]** Wie aus den Werten zu ersehen ist, ist bei Nutzung eines Gewichtsmediums (siehe Fig.7) eine wesentlich geringere Höhe des aufwärts führenden Rohres zum Aufbau des benötigten Arbeitsdruckes erforderlich. Der technisch minimal erforderliche Differenzdruck für den zweiten Energiewandler 34 (im Beispiel 0,3 MPa) wird damit zum bestimmenden Faktor für die Menge des eingesetzten Gewichtsmediums und die Bauhöhe des ersten Energiewandlers.
- 55 **[0150]** In Tabelle 3 sind beispielhaft die Arbeitsparameter eines Gesamtsystems 12 mit einem weiterentwickelten

EP 4 303 407 A1

ersten Energiewandler 22 bei unterschiedlichen Arbeitstemperaturen aufgeführt. Das dargestellte Temperaturszenario (Anstieg der maximalen Arbeitstemperatur von 40 auf 100 °C) entspricht dem Tagesverlauf eines Energiewandlers mit solarthermischer Wärmezufuhr und Verflüssigung des Arbeitsmitteldampfes durch Umgebungsluft bei steigender Umgebungstemperatur (Anstieg der Kondensationstemperatur von 20 auf 40°C).

[0151] Deutlich ablesbar sind die sich verändernden Betriebsparameter in Abhängigkeit von der Änderung der maximalen Arbeitstemperatur und der Kondensationstemperatur. In der letzten Spalte ist beispielhaft der Einfluss der Kondensationstemperatur auf die erzielbare Leistung dargestellt.

[0152] Bei einer angenommenen Anzahl von einem neu zugeführten Arbeitsbereich je Sekunde entspricht die Zahl der eingesetzten Arbeitsbereiche der Anzahl an Sekunden, in der das Arbeitsmittel die Entspannungsverdampfungskurve vom thermodynamischen Punkt 3 zum Punkt 5 des TLC2-Prozesses durchläuft.

Tabelle 1

Prozessbeispiel für die Umsetzung des TLC2-Prozesses in Gesamtsystem 11 bei einer Temperaturdifferenz von 10° zwischen Eingangs- und Kondensationstemperatur		
Eingangs-Parameter	Einheit	Gesamtsystem 11
Max. Arbeitstemperatur	°C	40
Kondensationstemperatur	°C	30
Mittl. Wirkungsgrad nach Carnot	%	-1,6
Arbeitsmittel / Dichte	-/ kg/m ²	n - Pentan / 605,76
Max. Arbeitsdruck	MPa	0,115
Kondensationsdruck	MPa	0,082
Menge Arbeitsmittel	kg	1,6
Rohrdurchmesser	m	0,1
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m	0,33
Ergebnis-Parameter		
Menge Arbeitsmittel, verdampft / flüssig	kg	0,1 / 1,5
Endhöhe Arbeitsmittel, flüssig + Dampf	m	5,54
Entspannungsverhältnis		1:16,9
Notwendige Rohrhöhe	m	48
Anzahl Arbeitsbereiche	-	19
Differenzdruck zw. Punkt 7 und 2	MPa	0,25
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs	0,66
Flächenleistung	kW/m ²	84,5

Tabelle 2

Vergleich der Gesamtsysteme 11 und 12 bei einer Eingangstemperatur von 100°C und einer Kondensationstemperatur von 40°C			
Eingangs-Parameter	Einheit	Gesamtsystem 11	Gesamtsystem 12
Max. Arbeitstemperatur	°C	100	
Kondensationstemperatur	°C	40	
Mittlerer Wirkungsgrad nach Carnot	%	8,74	
Arbeitsmittel / Dichte	-/ kg/m ²	n - Pentan / 605,76	
Max. Arbeitsdruck	MPa	0,59	
Kondensationsdruck	MPa	0,115	

EP 4 303 407 A1

(fortgesetzt)

Eingangs-Parameter		Einheit	Gesamtsystem 11	Gesamtsystem 12
Rohrdurchmesser	m		0,1	
Menge erwärmtes Arbeitsmittel	kg		0,23	
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m		0,0515	
Menge kaltes n-Pentan als Gewichtsmedium	kg		0	5,6
Ergebnis-Parameter				
Menge Arbeitsmittel, verdampft / flüssig	kg		0,1 / 0,13	
Endhöhe Arbeitsmittel, flüssig + Dampf	m		3,5	
Entspannungsverhältnis			1:68	
Notwendige Rohrhöhe	m		1525	138
Anzahl Arbeitsbereiche	-		1564	63
Differenzdruck zw. Punkt 7 und 2	MPa		8,6	0,3
Nutzbares Arbeitsmittel je Arbeitsbereich (+Gewichtsbereich)	kg		0,23	5,83
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs		-3,15	
Flächenleistung	kW/m ²		-400	

Tabelle 3

Beispiel Spreizung Arbeitsparameter bei solarthermischer Erwärmung und Kühlung durch Umgebungsluft						
Eingangs-Parameter		Einheit	Gesamtsystem 12			
Betriebsart erster Energiewandler	-		Energiewandler 22			
Max. Arbeitstemperatur	°C		40	60	80	100
Kondensationstemperatur	°C		20	30	40	20
Mittlerer Wirkungsgrad nach Carnot	%		3,3	4,7	6	8,74
Arbeitsmittel / Dichte @20°C	- / kg/m ²		N - Pentan / 625,76			
Max. Arbeitsdruck	MPa		0,115	0,214	0,368	0,59
Kondensationsdruck	MPa		0,056	0,082	0,115	0,056
Rohrhöhe	m		138			
Rohrdurchmesser	m		0,1			
Menge warmes Arbeitsmittel	kg		0,79	0,5	0,355	0,23
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m		0,16	0,1	0,077	0,051
Menge kaltes Gewichtsmedium	kg		1,6	2,8	3,45	5,6
Höhe Gewichtsmedium	m		0,326	0,58	0,73	1,18
Ergebnis-Parameter						
Arbeitsmittel, verdampft / flüssig	kg		0,1 / 0,69	0,1 / 0,4	0,1 / 0,25	0,1 / 0,13
Endhöhe Arbeitsmittel (flüssig + Dampf)	m		7,5	5,3	3,825	3,80
Entspannungsverhältnis			1:47	1:53	1:50	1:74
Anzahl wirksame Arbeitsbereiche	-		18	30	49	63
Differenzdruck zw. Punkt 7 und 2	MPa		0,3			

(fortgesetzt)

Ergebnis-Parameter						
Nutzbares Arbeitsmittel	kg	2,39	3,2	3,8	5,83	10,2
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs	1,23	1,77	2,25	3,33	4,9
Flächenleistung bei einem Arbeitsbereich / sec	kW/m²	156	225	286	424	629

Patentansprüche

- Energiewandler (21) zur isentropen Umwandlung der thermischen Energie eines unter Druck stehenden, durch Kontakt mit einer Wärmequelle erwärmten flüssigen Arbeitsmittel (52) in potentielle Energie unter Realisierung einer teilweisen Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess **gekennzeichnet durch** mindestens die Bestandteile:

 - Ein geschlossenes, thermisch isoliertes, aufwärts gerichtetes Rohrsystem mit einem Aufstiegsrohr (130) und einem Abstiegsrohr (160), verbunden durch Rohrbögen (110, 140)
 - Eine Anzahl von mindestens 10 in dem geschlossenen Rohrsystem frei umlaufende, mit einer Dichtung versehene und die Räume oberhalb und unterhalb trennende Kolben (170) die im Abstiegsrohr 160 einen Kolbenstapel 171 bilden
 - Einbringöffnungen und einer Einbringvorrichtung (121) auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum Einbringen des erwärmten Arbeitsmittels (52) in einen Arbeitsbereich (AB) zwischen zwei Kolben (170)
 - Auslassöffnungen im Mantel des Rohres auf dem oberen Niveau zum Auslassen des flüssig verbliebenen (51) und des verdampften (54) Arbeitsmittels aus dem Rohrsystem
 - Einer Separierungsvorrichtung (150) zum Trennen des verdampften Arbeitsmittels (54) von dem flüssig gebliebenen, kalten Arbeitsmittel (51).
- Energiewandler (22) nach Anspruch 1 **gekennzeichnet durch** mindestens die Bestandteile:

 - Zusätzliche Einbringöffnungen und einer Einbringvorrichtung (122) auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum Einbringen eines unter Druck stehenden, flüssigen Gewichtsmediums (60) in einen Gewichtsereich (GB) zwischen zwei Arbeitsbereiche (AB), wobei das Gewichtsmedium (60) nicht durch die Wärmequelle erwärmtes Arbeitsmittel ist
 - Auslassöffnungen auf dem oberen Niveau zum gemeinsamen Auslassen des flüssig verbliebenen (51) und des verdampften (54) Arbeitsmittels sowie des flüssigen Gewichtsmediums (60) aus dem Rohrsystem
 - Einer Separierungsvorrichtung (150) zum Trennen des verdampften Arbeitsmittels (54) von dem flüssig gebliebenen, kalten Arbeitsmittel (51) sowie dem flüssigen Gewichtsmedium (60).
- Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rohrsystem so dimensioniert ist, dass zur Umwandlung der thermischen Energie des erwärmten Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie im Aufstiegsrohr (130) des Energiewandlers mindestens 10, bevorzugt mehr als 20 voneinander unabhängige, einzelne Arbeitsbereiche (AB) vorgesehen sind.
- Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Rohrsystem so dimensioniert ist, dass die Bewegung eines einzelnen Arbeitsbereiches (AB) vom Einbringen auf dem unteren Niveau bis zum Erreichen des oberen Niveaus mindestens 2 Sekunden, bevorzugt mehr als 10 Sekunden dauert.
- Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es an der Dichtung der Kolben (170) zwischen den einzelnen Arbeitsbereichen (AB) bzw. Arbeitsbereichen (AB) und Gewichtsbereichen (GB) Druckunterschiede von weniger als 0,001 MPa gibt.
- Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kolben (170) eine aufgeraute, poröse Oberfläche aufweisen, die eine Blasenbildung des Arbeitsmittels fördert.
- Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entspannung

des Arbeitsdruckes (pA) sowie die Volumenvergrößerung der Arbeitsbereiche (AB) stufenlos erfolgt.

8. Vorrichtung zur Umwandlung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit Temperaturen von maximal 200°C in zwei Schritten in technisch nutzbare mechanische Energie, **gekennzeichnet durch**,

- mindestens einen ersten Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-7, der ein Arbeitsmittel (AM) unter Nutzung von thermischer Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit einer Temperatur von maximal 200°C durch Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau hebt und die vom Arbeitsmittel (AM) aufgenommene thermische Energie in potentielle Energie des Arbeitsmittels (AM) wandelt
- einen zweiten Energiewandler (34), der unter Rückführung des Arbeitsmittels (AM) vom oberen auf das untere Niveau die gewonnene potentielle Energie als technisch nutzbare mechanische Energie abgibt.

9. Vorrichtung (11) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens folgende Komponenten umfasst:

- Einen Wärmetauscher (31) zur Übertragung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit Temperaturen von maximal 200°C an ein unter Dosierdruck (pD) stehendes flüssiges Arbeitsmittel (51) ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- Thermisch isolierte Zuführungen (40), um das erwärmte Arbeitsmittel (52) einem ersten Energiewandler (21) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zuzuführen
- Mindestens einen ersten Energiewandler (21) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie
- Zuführungen (40), um das im ersten Energiewandler (21) flüssig gebliebene Arbeitsmittel (51) einem Sammel- und Pufferbehälter (33) zuzuführen
- Zuführungen (40), um das im ersten Energiewandler (21) verdampfte Arbeitsmittel (54) einer Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zuzuführen
- Eine Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zur Verflüssigung des verdampften Arbeitsmittels (54)
- Zuführungen (40), um das verflüssigte Arbeitsmittel (51) einem Sammel- und Pufferbehälter (33) zuzuführen
- Einen Sammel- und Pufferbehälter (33) zur Zusammenführung des im ersten Energiewandler (21) flüssig gebliebenen und des in der Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) verflüssigten Arbeitsmittels (51)
- Zuführungen (40), um das flüssige, kalte Arbeitsmittel (51) vom Sammelbehälter (33) unter Aufbau von statischem Druck einem zweiten Energiewandler (34) zuzuführen
- Einen zweiten Energiewandler (34) zur Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels (51) in technisch nutzbare Energie
- Zuführungen (40), um das noch unter Dosierdruck (pD) stehende Arbeitsmittel (51) vom zweiten Energiewandler (34) wieder dem Wärmetauscher (31) zuzuführen.

10. Vorrichtung (13) nach dem Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie mindestens folgende Komponenten umfasst:

- Mindestens einen ersten Energiewandler (21) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Umwandlung der thermischen Energie eines unter Dosierdruck (pD) stehenden und erwärmten Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie
- Zuführungen (40), um das im ersten Energiewandler (21) flüssig gebliebene Arbeitsmittel (51) einem Sammel- und Pufferbehälter (33) zuzuführen
- Zuführungen (40), um das im ersten Energiewandler (21) verdampfte Arbeitsmittel (54) einer Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zuzuführen
- Eine Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zur Verflüssigung des verdampften Arbeitsmittels (54)
- Einen Sammel- und Pufferbehälter (33) zur Zusammenführung des flüssig gebliebenen und des in der Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) verflüssigten Arbeitsmittels (51)
- Zuführungen (42), um das Arbeitsmittel (51) vom Sammel- und Pufferbehälter (33) einem Wärmetauscher (31) zuzuführen
- Einen Wärmetauscher (31) zur Übertragung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle an ein flüssiges Arbeitsmittel (51) ohne Verdampfung des Arbeitsmittels bei gleichzeitigem Aufbau eines hohen statischen Druckes
- Thermisch isolierte Zuführungen (42), um das flüssige, erwärmte und unter hohem Druck stehende Arbeitsmittel (52) vom Wärmetauscher (31) einem zweiten Energiewandler (34) zuzuführen
- Einem zweiten Energiewandler (34) zur Umwandlung von potentieller Energie des erwärmten Arbeitsmittels

(52) in technisch nutzbare Energie

- Thermisch isolierte Zuführungen (40), um das erwärmte Arbeitsmittel (52) dem ersten Energiewandler (21) zuzuführen.

- 5 11. Vorrichtung (12,14) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zum Arbeitsmittel (AM) ein Gewichtsmedium (60) vom unteren auf das obere Niveau gehoben wird.
12. Vorrichtung (11-14) nach einem der Ansprüche 8-11, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere der ersten Energiewandler (21,22) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 parallel angeordnet sind, welche die anderen aufgeführten Komponenten gemeinsam nutzen und die mehreren ersten Energiewandler (21,22) individuell zu- oder abgeschaltet werden können.
- 10 13. Vorrichtung (11-14) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Kontroll- und Regelungssystem aufweist, welches die Anzahl der zu- oder abgeschalteten ersten Energiewandler (21,22) steuert und an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle, der Kondensationstemperatur oder der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle anpasst.
- 15 14. Vorrichtung (11-14) nach einem der Ansprüche 8-13, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Kontroll- und Regelungssystem aufweist, welches die Menge des eingespeisten erwärmten Arbeitsmittels (52) und ggf. des Gewichtsmediums (60) reguliert und an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle, der Kondensationstemperatur oder der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle anpasst.
- 20 15. Verfahren zur Umwandlung der thermischen Energie eines durch die thermische Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit einer Temperatur von maximal 200°C erwärmten Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie des Arbeitsmittels, umfassend die Schritte
 - Das warme, flüssige Arbeitsmittel (52) wird in einen ersten Energiewandler (21,22) gemäß einem der Ansprüche 1-7 eingebracht
 - Das warme, flüssige Arbeitsmittel (52) wird im ersten Energiewandler (21,22) in einem räumlich abgegrenzten Arbeitsbereich (AB) geführt
 - Die Arbeitsbereiche (AB) mit dem warmen, flüssigen Arbeitsmittel (52) werden im Energiewandler (21,22) von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau gehoben, wobei das Anheben des Arbeitsmittels (52) auf das obere Niveau durch isentrope Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) in Hubarbeit durch eine teilweise Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels (52) nach dem TLC2-Prozess erfolgt.
- 25 16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zu dem erwärmten Arbeitsmittel (52) ein nicht erwärmtes Gewichtsmedium (60) thermisch isoliert von dem erwärmten Arbeitsmittel (52) in räumlich abgegrenzten Gewichtsgebieten (GB) auf das obere Niveau transportiert wird.
- 30 17. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche 15 - 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie im Energiewandler (21,22) in mindestens 10, bevorzugt mehr als 20 voneinander unabhängigen, einzelnen Arbeitsbereichen (AB) erfolgt.
- 35 18. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche 15 - 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) in potentielle Energie im ersten Energiewandler (21,22) kontinuierlich und stufenlos verläuft und damit eine selbsttätige Anpassung der p-V-Kennlinie des ersten Energiewandlers (21,22) an die p-V-Verdampfungskennlinie des verwendeten Arbeitsmittels erfolgt.
- 40 19. Verfahren zur Umwandlung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit einer Temperatur von maximal 200°C in einem geschlossenen Kreislauf in technisch nutzbare mechanische Energie, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlung in mindestens den Schritten erfolgt:
 - die thermische Energie der Niedertemperaturwärmequelle wird in einem ersten Schritt in einem Verfahren nach den Ansprüchen 16 - 19 in potentielle Energie umgewandelt
 - die potentielle Energie wird in einem zweiten Schritt in technisch nutzbare mechanische Energie umgewandelt.
- 45 20. Verfahren nach Anspruch 19 mit zumindest den folgenden Verfahrensschritten:

EP 4 303 407 A1

- **Schritt a:** Isobares Erwärmen eines unter Dosierdruck (pD) stehenden flüssigen Arbeitsmittels (51) aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt b:** Isentrope Umwandlung der aufgenommenen thermischen Energie in mindestens einem, bevorzugt mehreren ersten Energiewandler (21,22) gemäß Anspruch 1-7 in potentielle Energie des Arbeitsmittels
- **Schritt c:** Isobares Kondensieren des verdampften Anteils des Arbeitsmittels (54)
- **Schritt d:** Isochore Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels (51) in einem zweiten Energiewandler (34) in technisch nutzbare mechanische Energie.

21. Verfahren nach Anspruch 19 mit zumindest den folgenden Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Isentrope Umwandlung der thermischen Energie eines unter Dosierdruck stehenden erwärmten Arbeitsmittels (52) in mindestens einem, bevorzugt mehreren ersten Energiewandler gemäß Anspruch 1-7 in potentielle Energie des Arbeitsmittels (51)
- **Schritt b:** Isobares Kondensieren des verdampften Anteils des Arbeitsmittels (54)
- **Schritt c:** Isochores Erwärmen des flüssigen Arbeitsmittels (51) bei gleichzeitiger Druckerhöhung aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels (52)
- **Schritt d:** Isochore Umwandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels (52) in einem zweiten Energiewandler (34) in technisch nutzbare mechanische Energie.

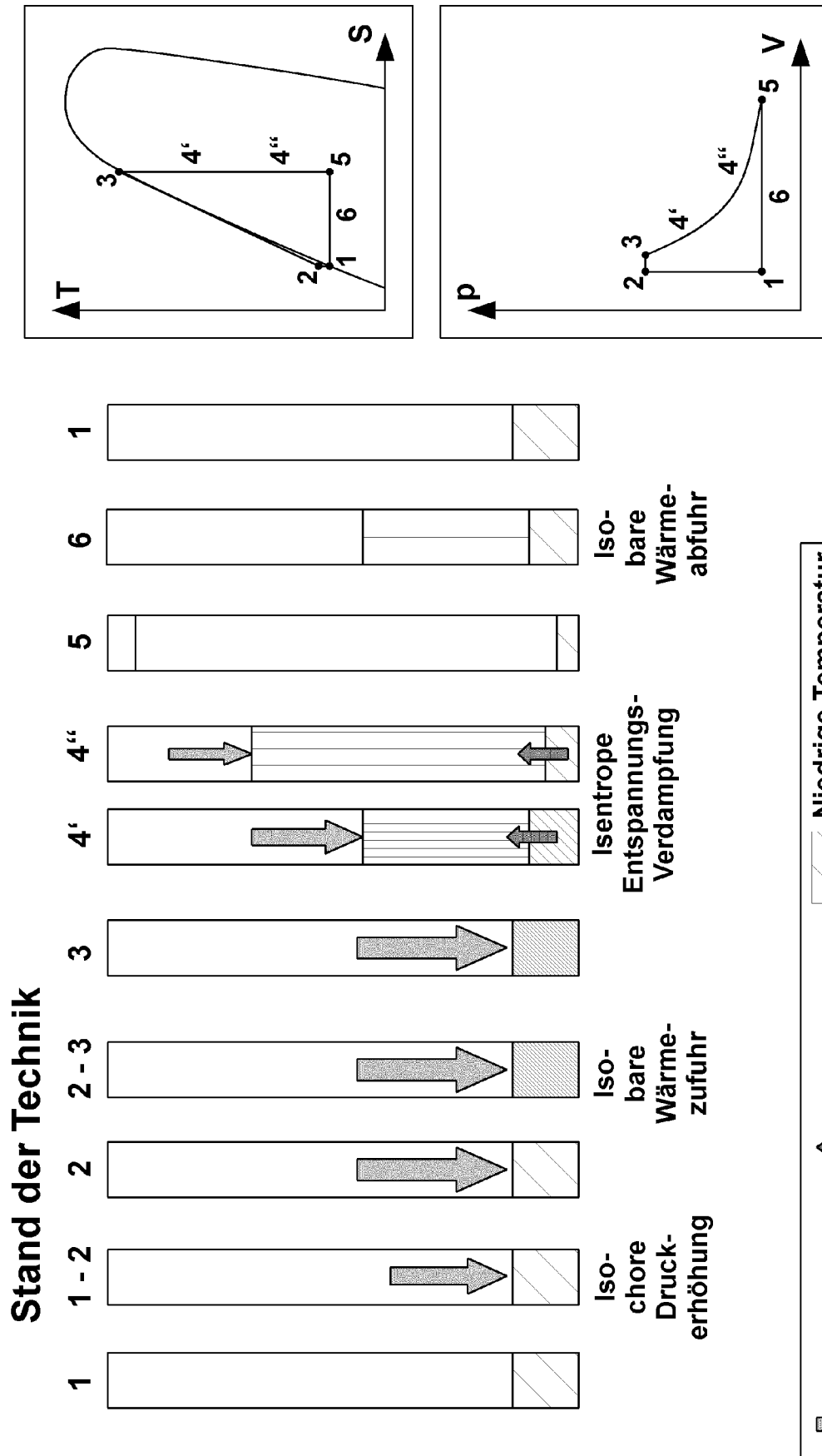


Fig. 1

Fig. 2

Stand der Technik

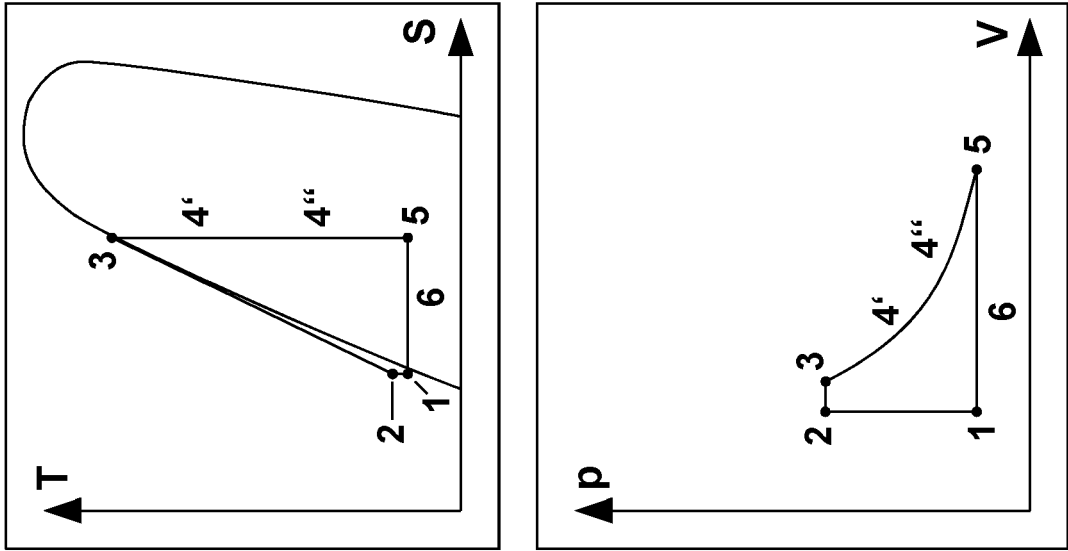
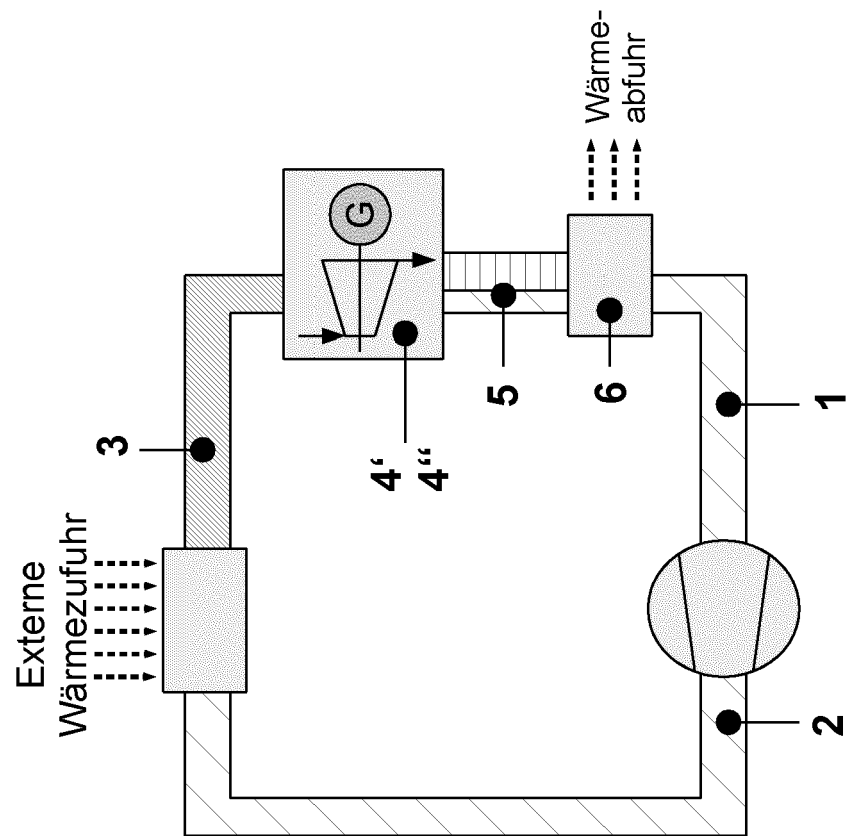
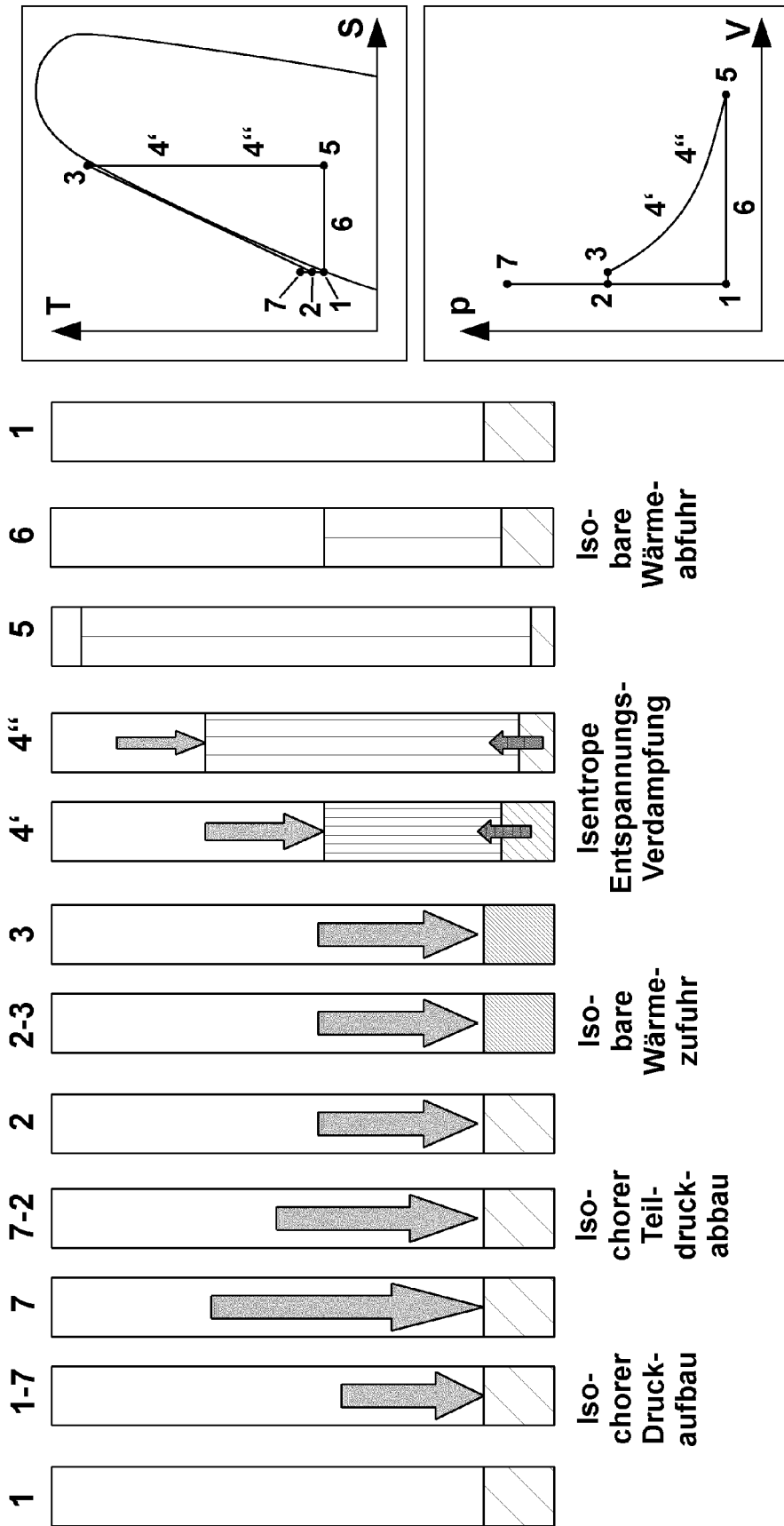


Fig. 3



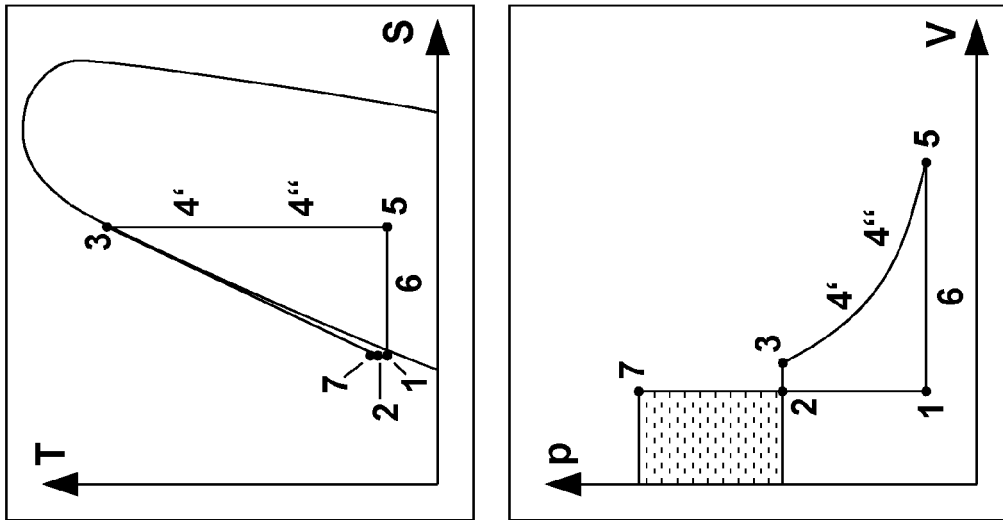


Fig. 4

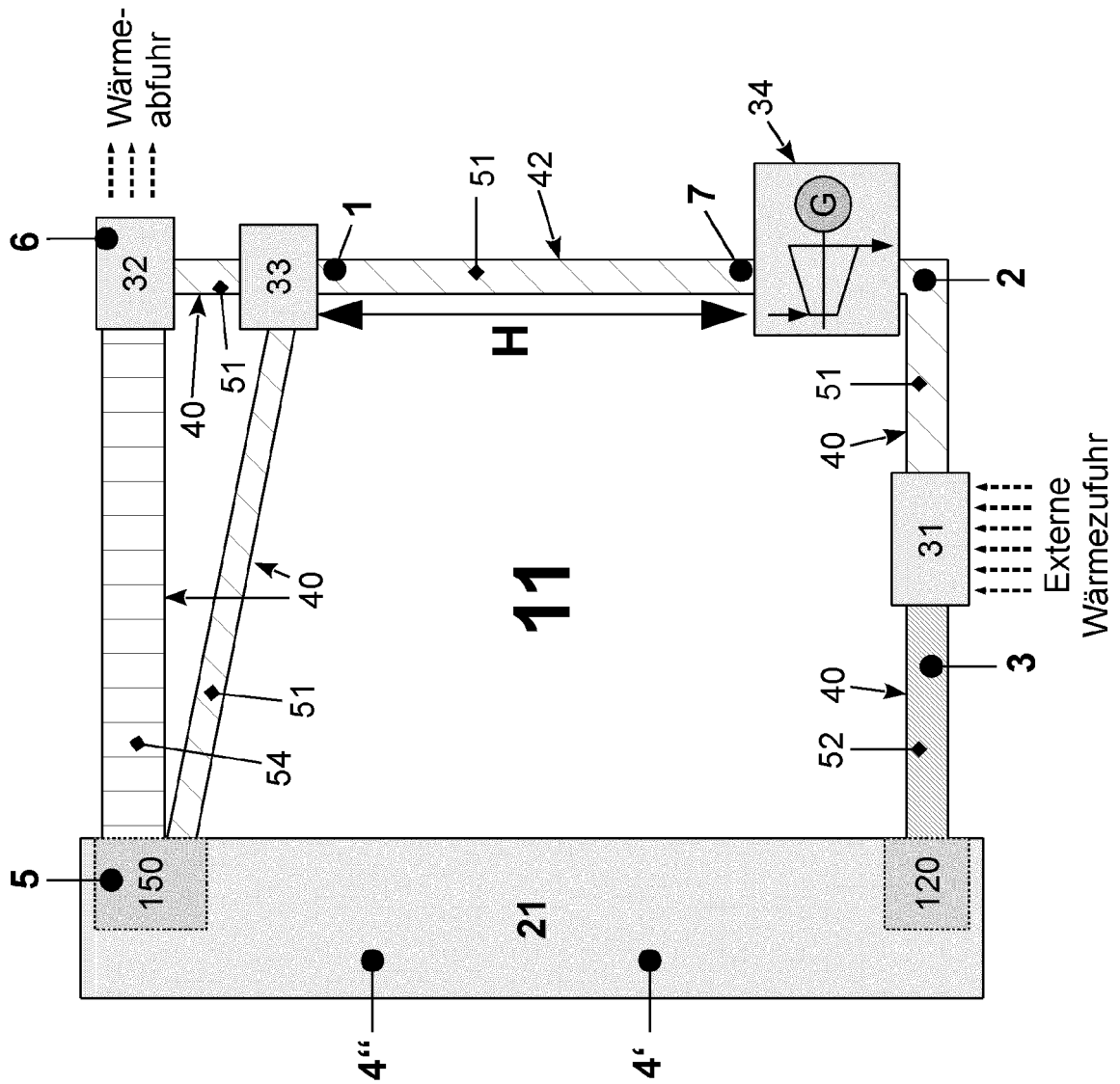


Fig. 5

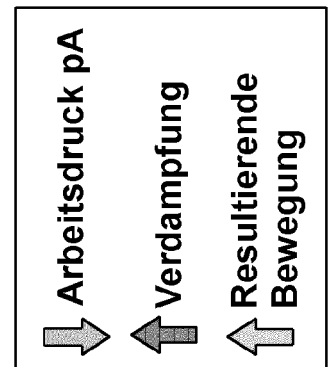
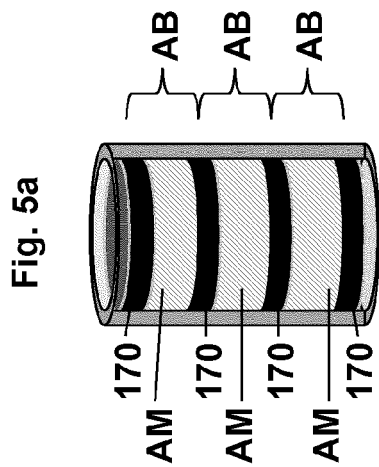
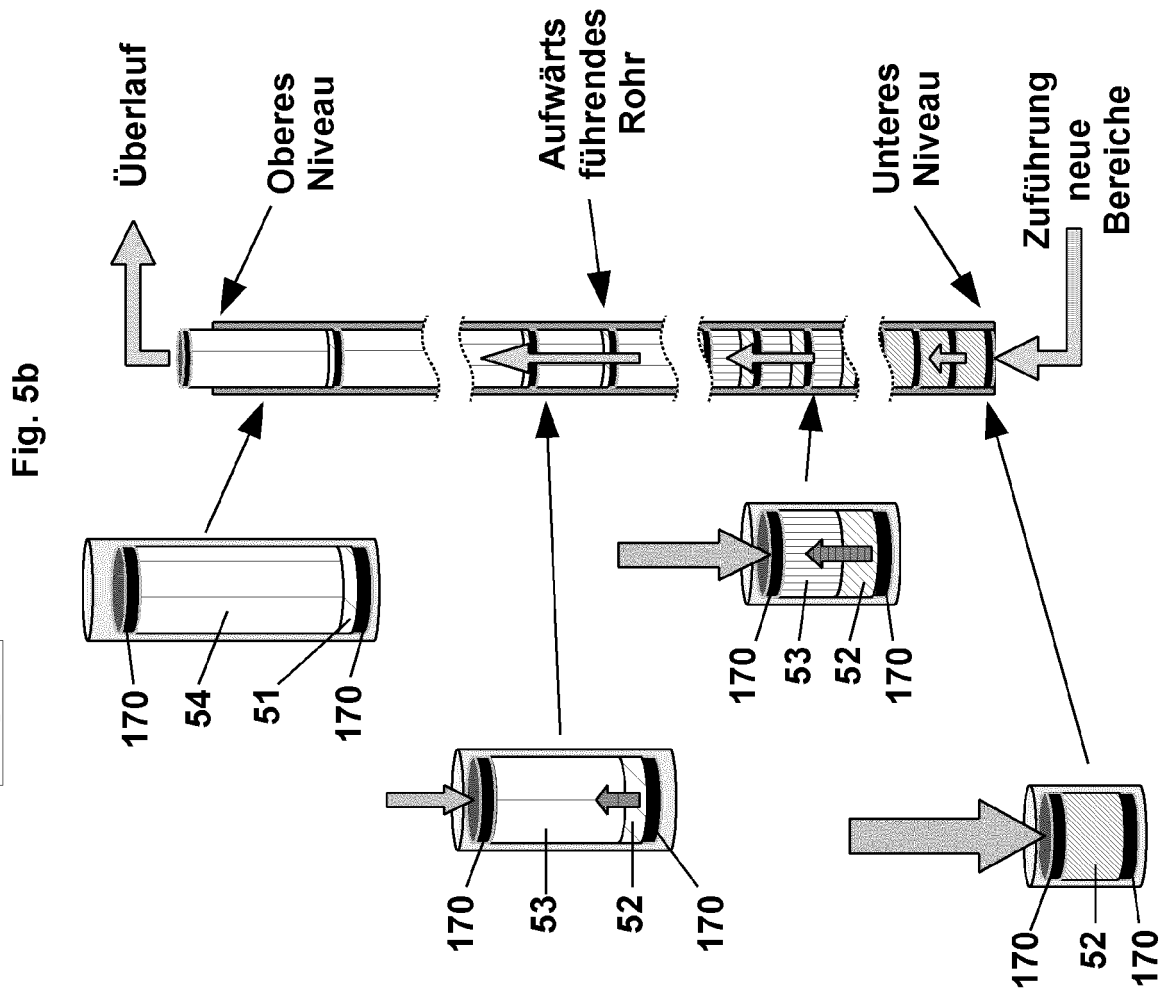
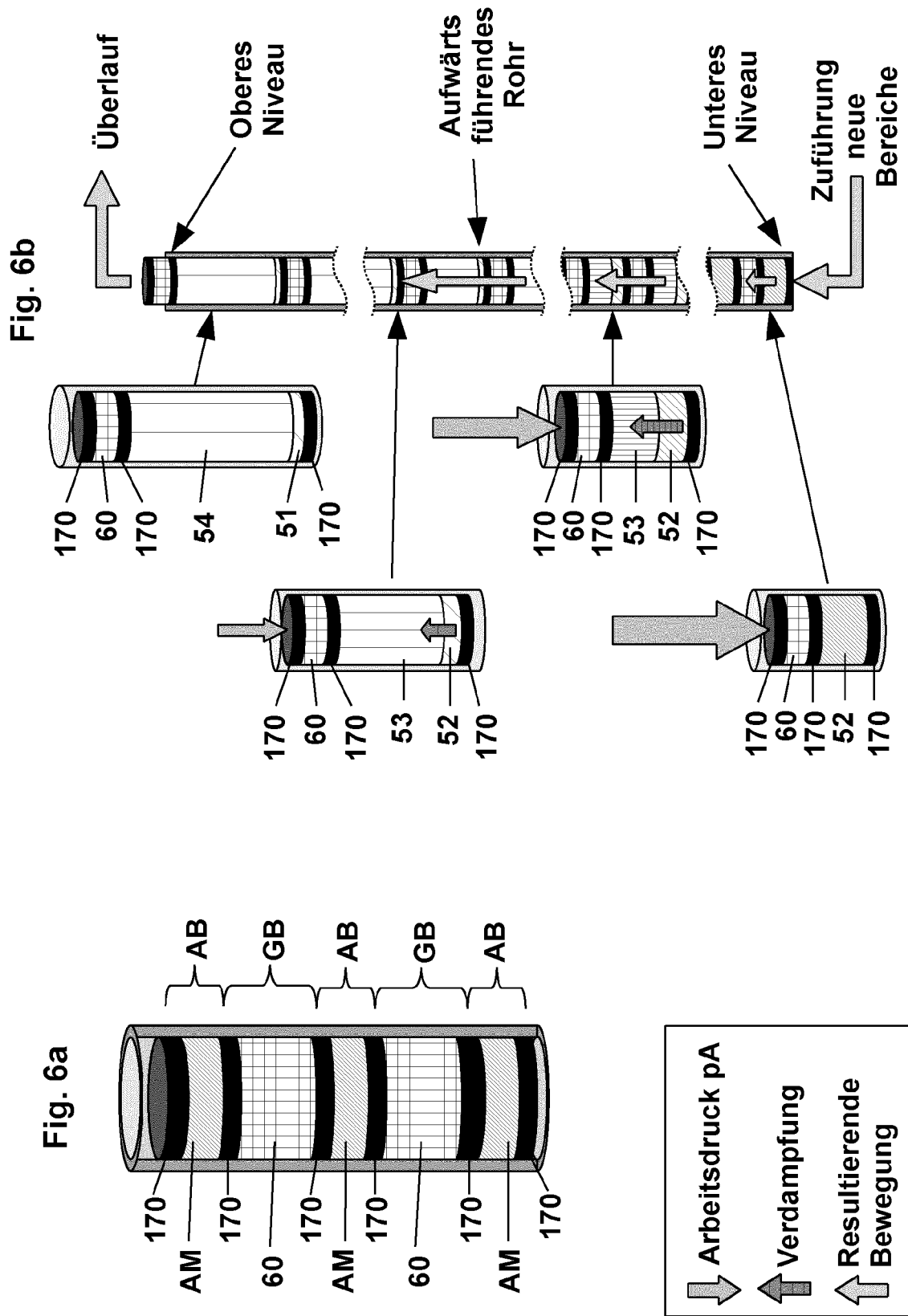


Fig. 6



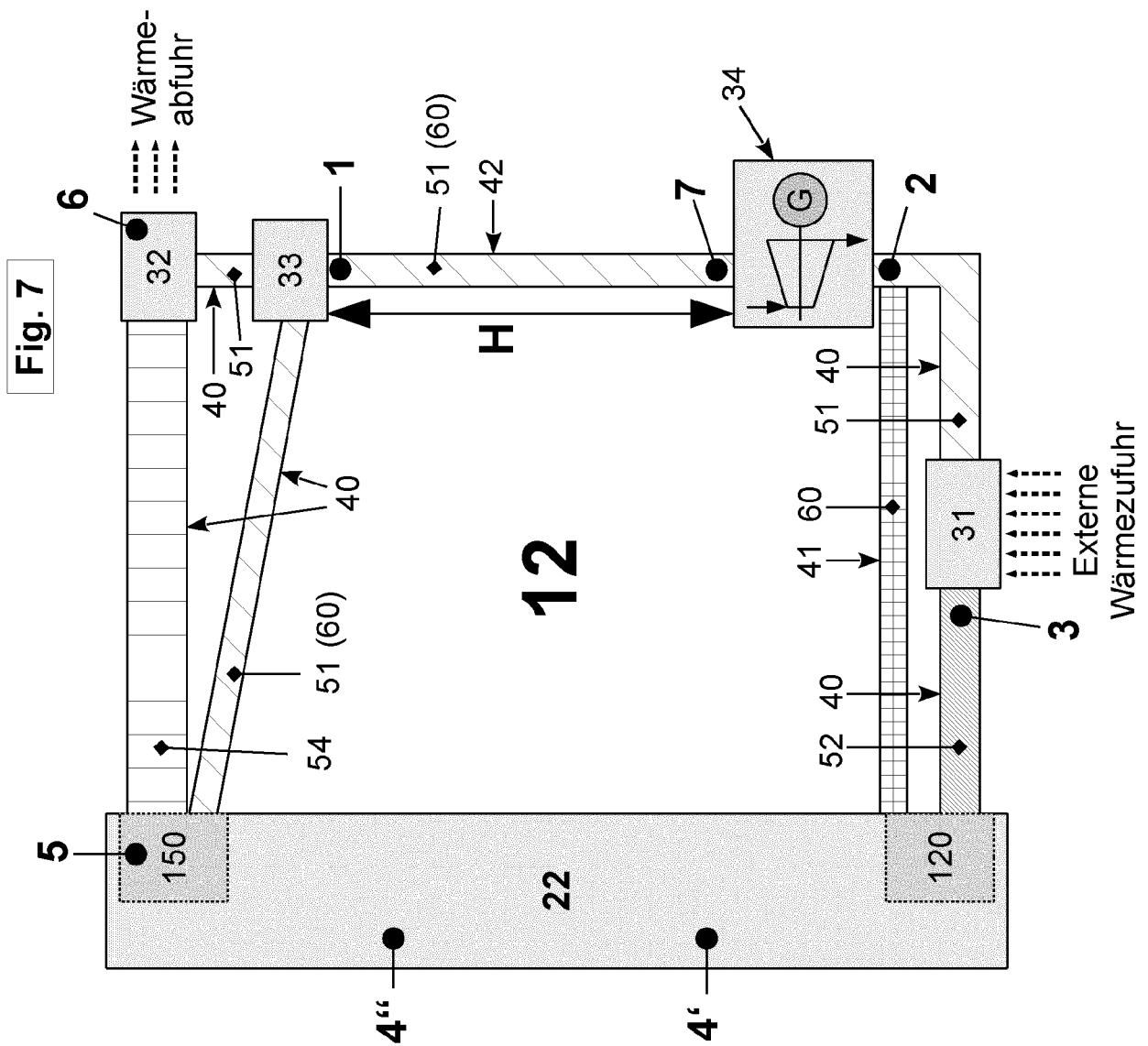
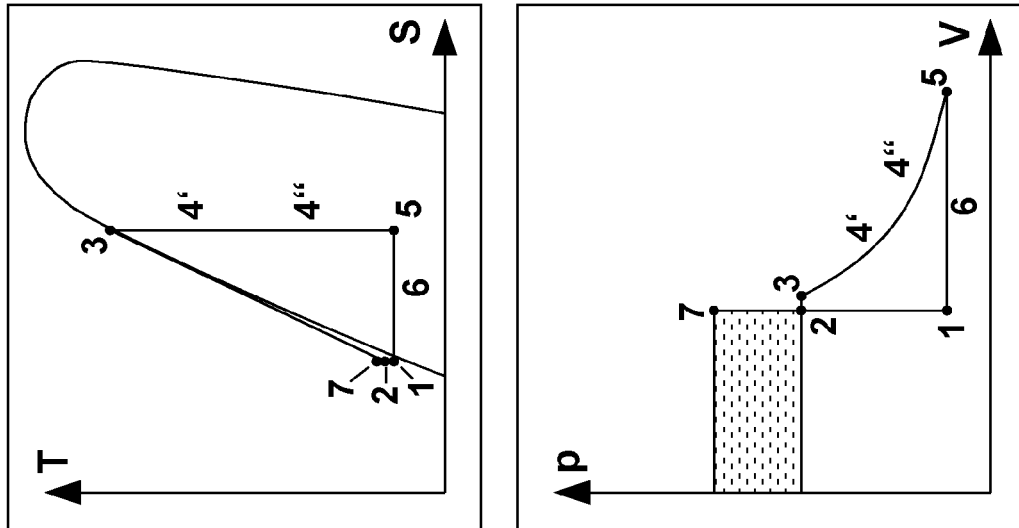


Fig. 8

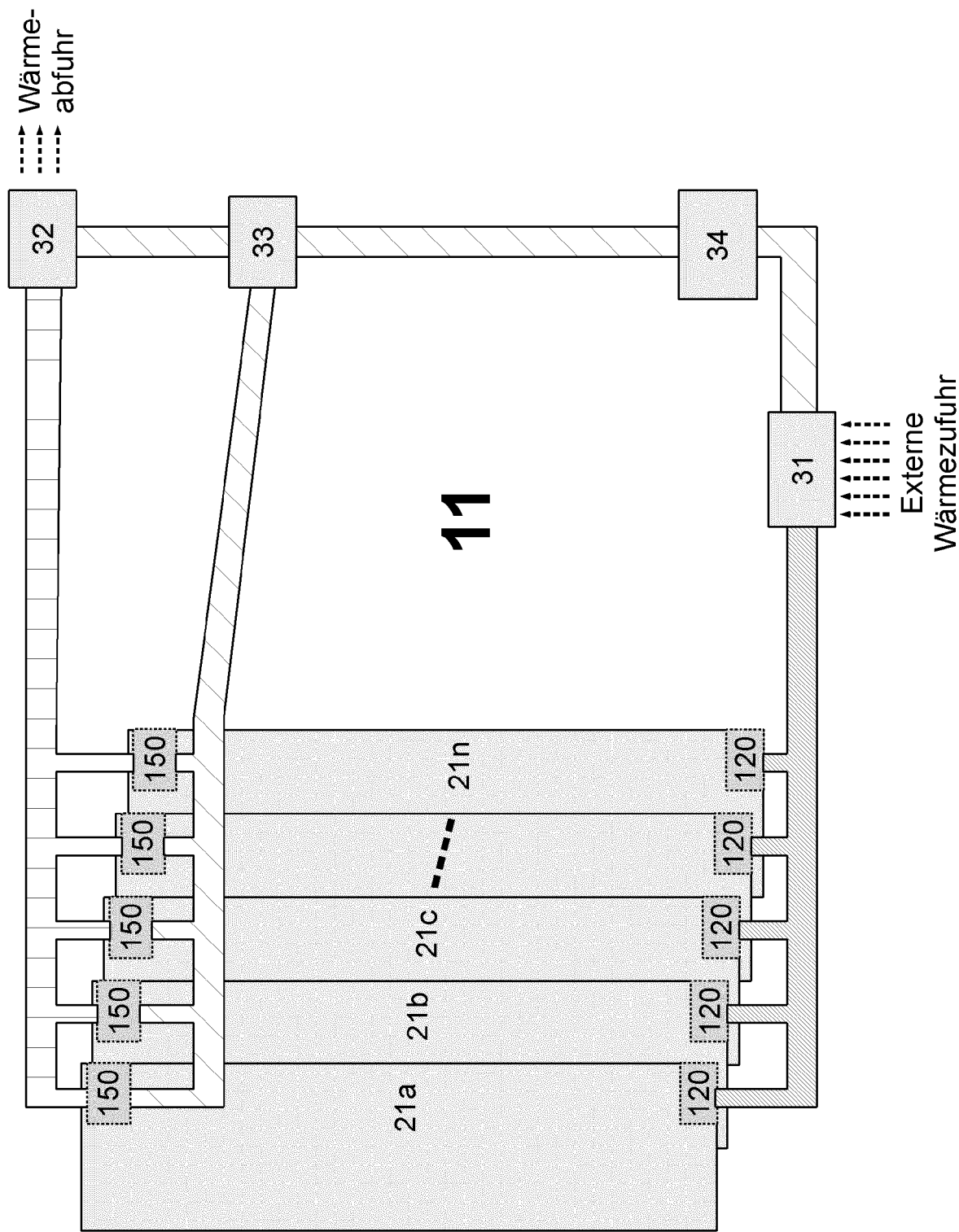
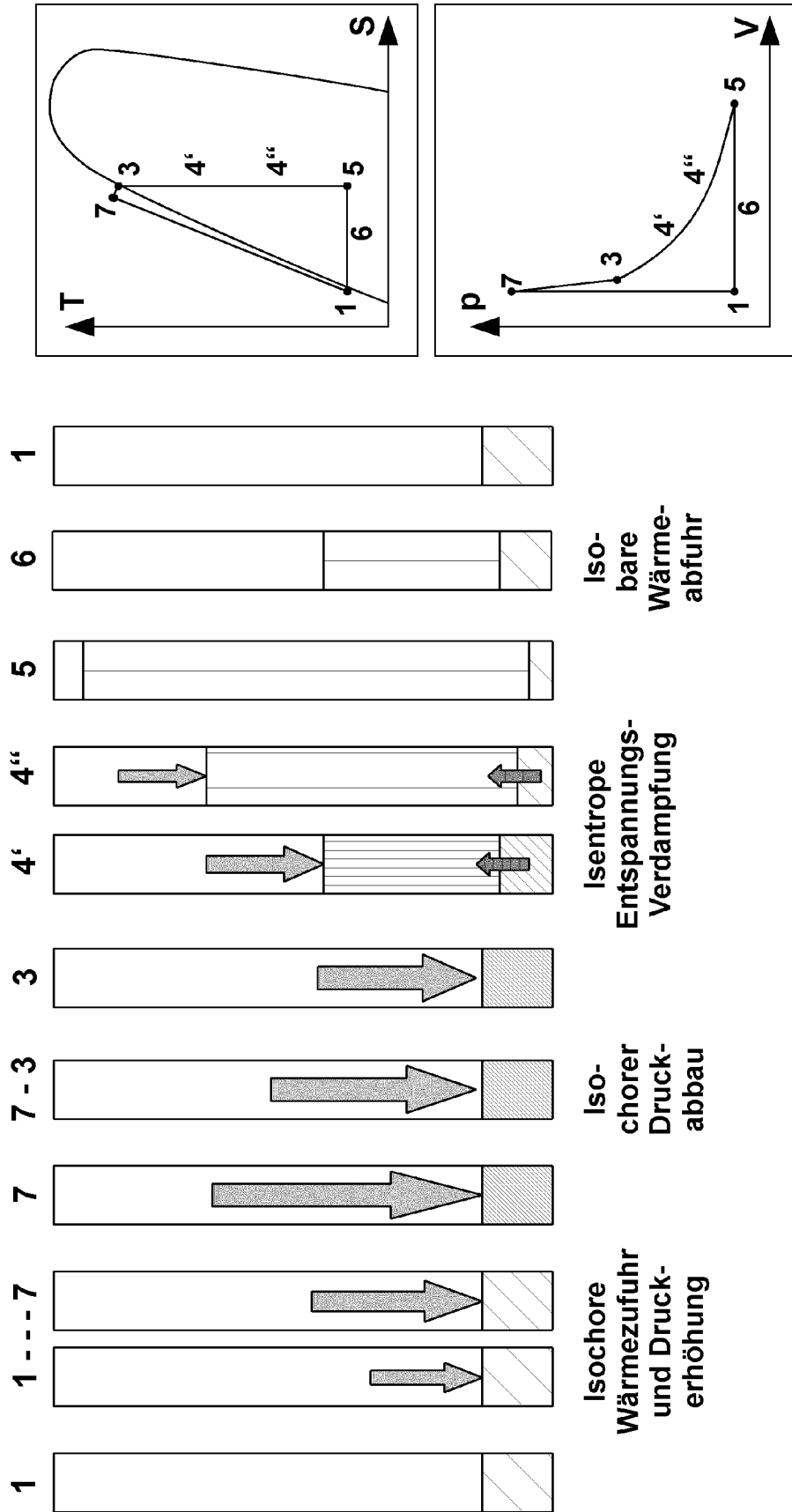
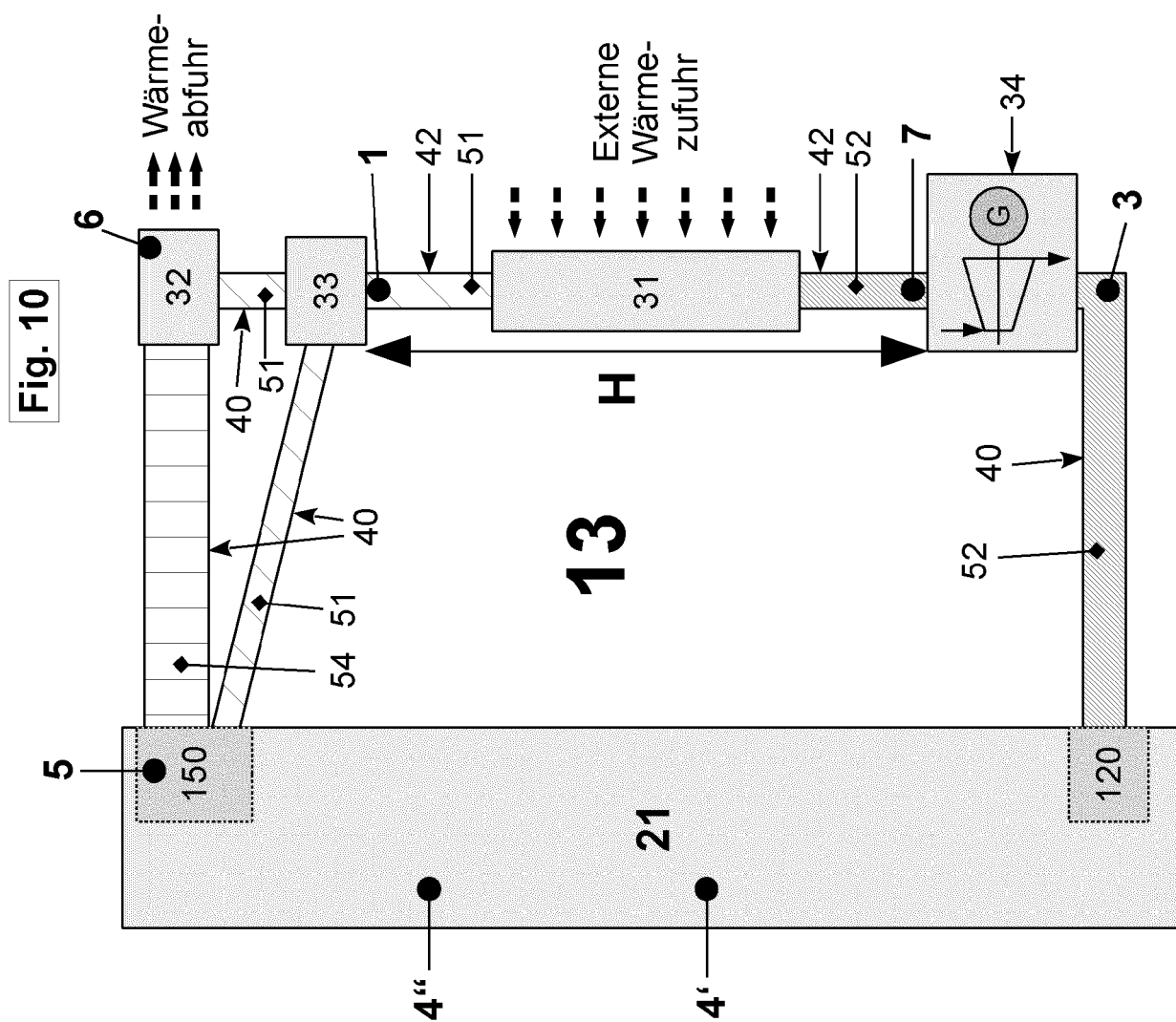
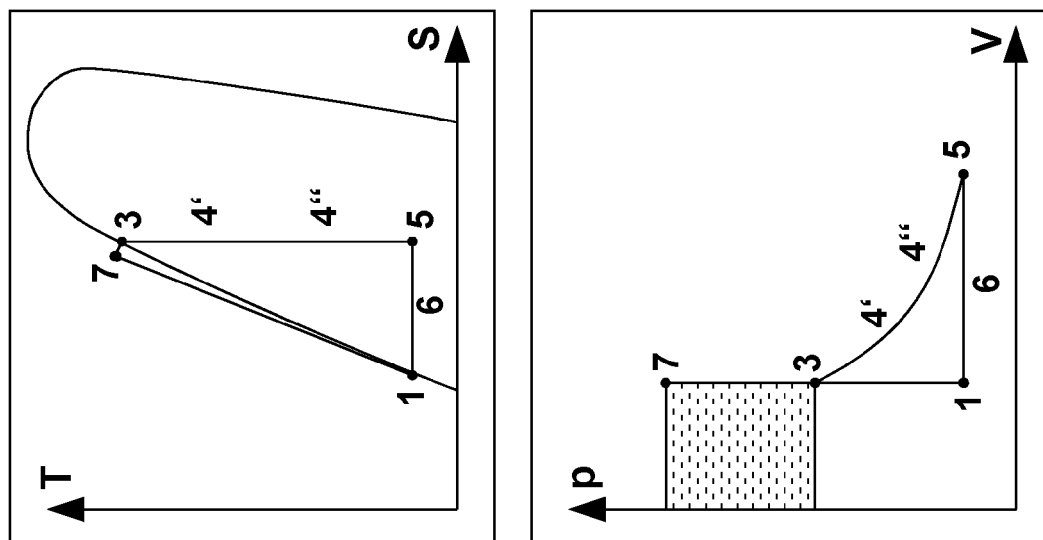


Fig. 9





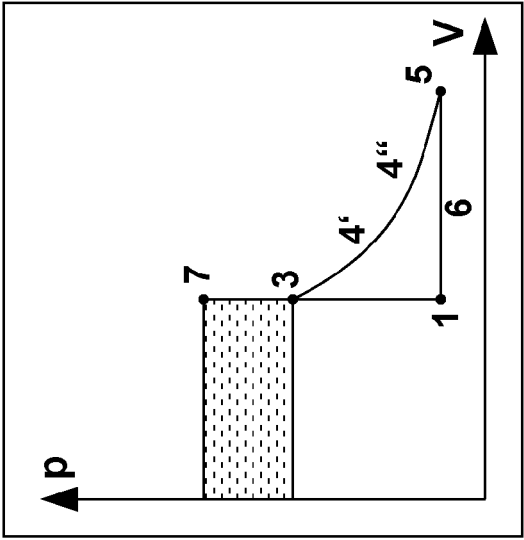
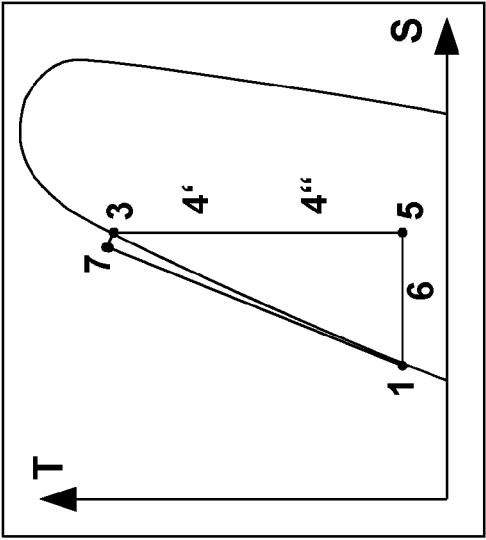
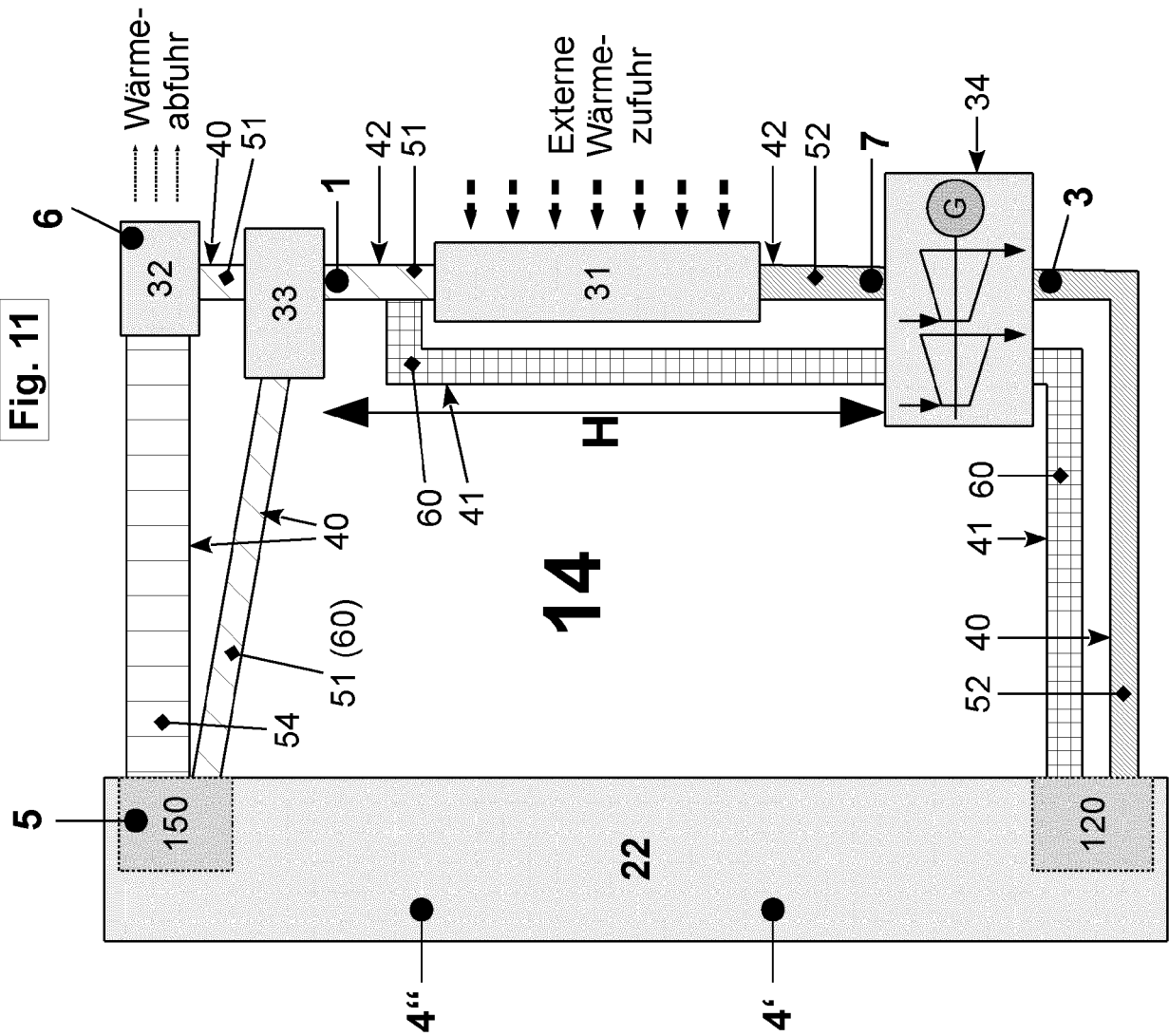


Fig.12

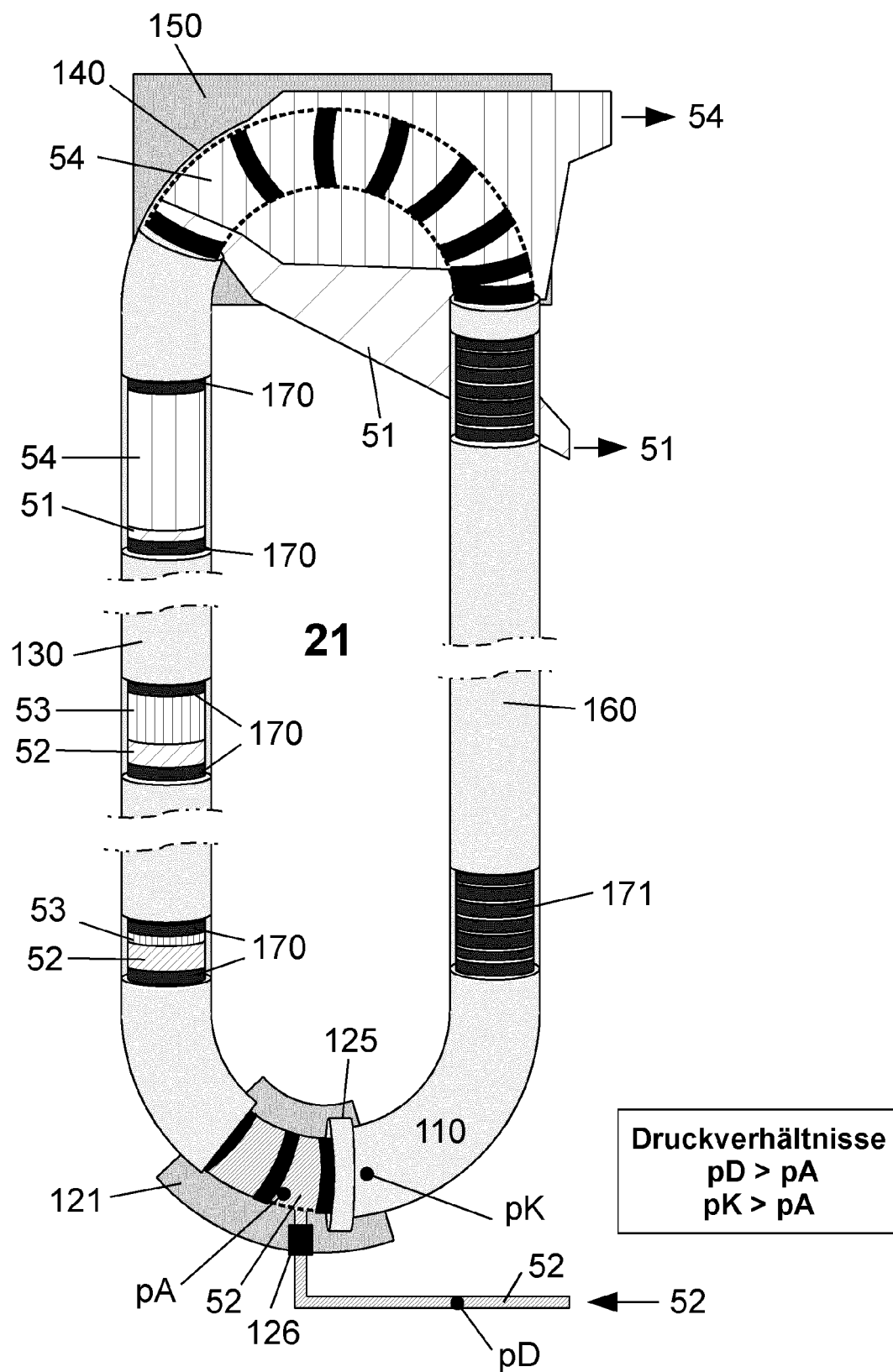


Fig.13

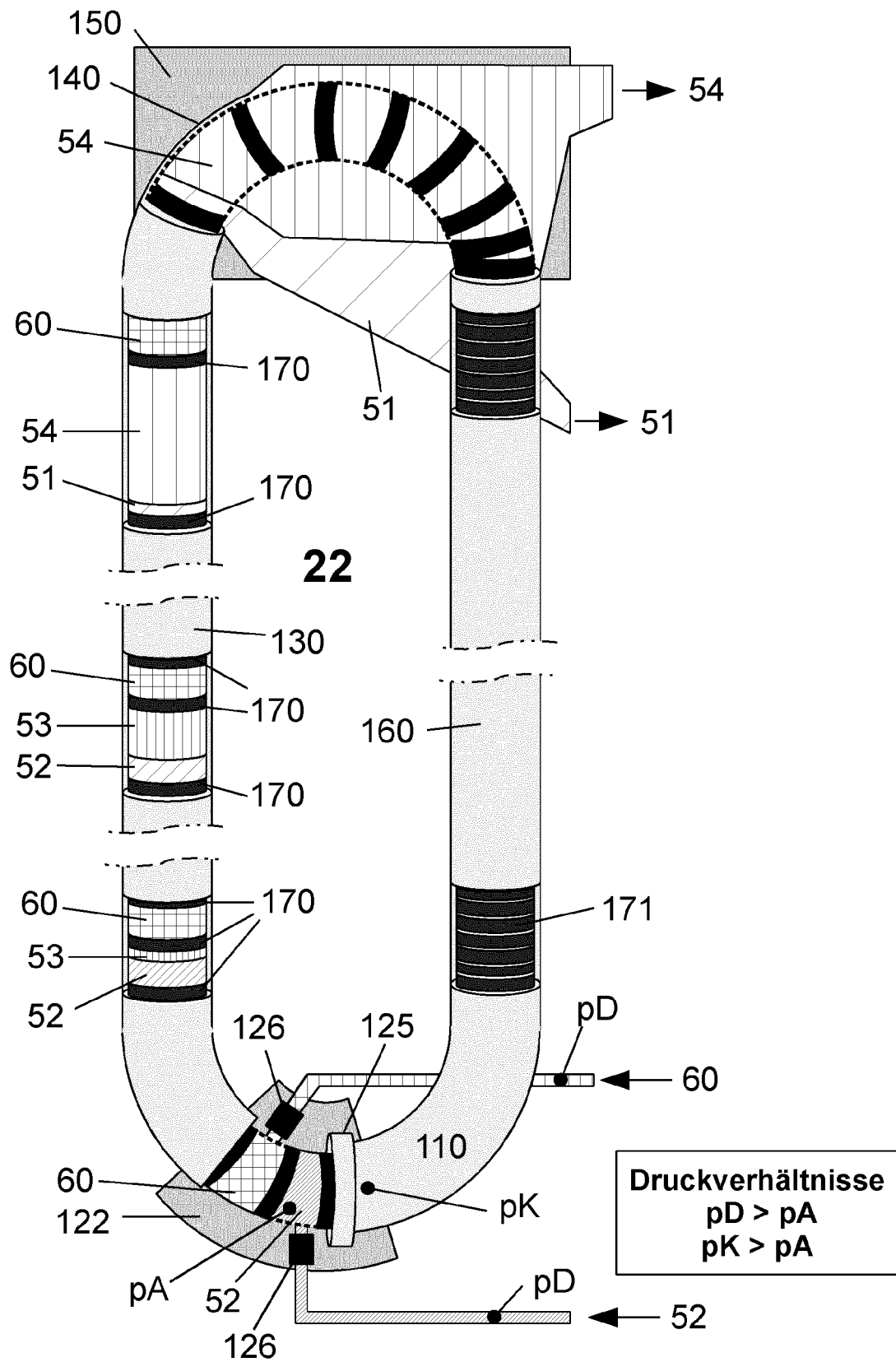
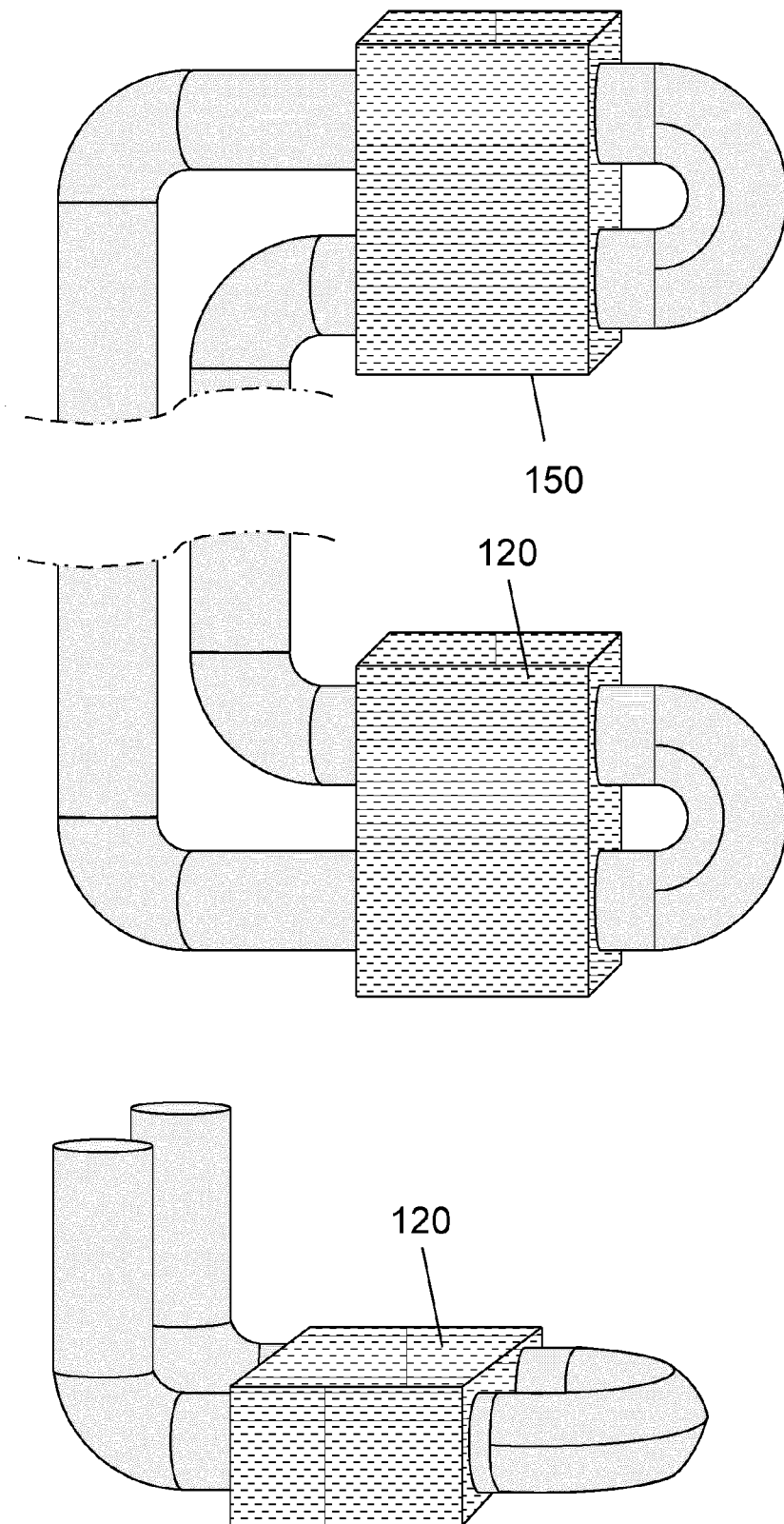


Fig.15





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 3988

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

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)
A, D	DE 10 2018 130412 A1 (LINDNER CARMEN [DE]; LINDNER LUTZ [DE]) 4. Juni 2020 (2020-06-04) * Absatz [0024]; Abbildung 4 *	1-21	INV. F01K25/06 F02G1/043 F22B27/00
A	US 2001/054289 A1 (COVER JOHN H [US]) 27. Dezember 2001 (2001-12-27) * Absätze [0056] - [0058]; Abbildung 10 *	1-21	
A	WO 2006/126241 A1 (AGATA TAKAHIRO [JP]) 30. November 2006 (2006-11-30) * Absätze [0048] - [0061]; Abbildung 4 *	1-21	
A	US 2013/341929 A1 (HO TONY [US] ET AL) 26. Dezember 2013 (2013-12-26) * das ganze Dokument *	1-21	
A	US 2022/186679 A1 (SANTRA ARINDAM [IN] ET AL) 16. Juni 2022 (2022-06-16) * das ganze Dokument *	1-21	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K F02G F22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. März 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 22 18 3988

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.

20-03-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102018130412 A1	04-06-2020	KEINE	

15	US 2001054289 A1	27-12-2001	KEINE	

	WO 2006126241 A1	30-11-2006	JP WO2006126241 A1	25-12-2008
			WO 2006126241 A1	30-11-2006

20	US 2013341929 A1	26-12-2013	KEINE	

	US 2022186679 A1	16-06-2022	CN 113439158 A	24-09-2021
			EP 3921532 A1	15-12-2021
			US 2022186679 A1	16-06-2022
			WO 2020160847 A1	13-08-2020
25	-----			
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 4557112 A [0002] [0007]
- US 3169375 A [0007]
- US 7093503 B [0007]
- DE 102007041457 [0007]
- DE 102006015754 [0007]
- US 6412281 B [0010]
- DE 102018130412 [0010]
- DE 4035870 [0010]
- DE 2943686 [0010]
- US 4187686 A [0010]
- US 3953971 A [0010]