



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.01.2024 Patentblatt 2024/03

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01K 25/06^(2006.01) F22B 27/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22184230.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01K 25/065; F22B 27/00

(22) Anmeldetag: **11.07.2022**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Roßberg, Kristian**
28203 Bremen (DE)

(72) Erfinder: **Roßberg, Kristian**
28203 Bremen (DE)

Bemerkungen:

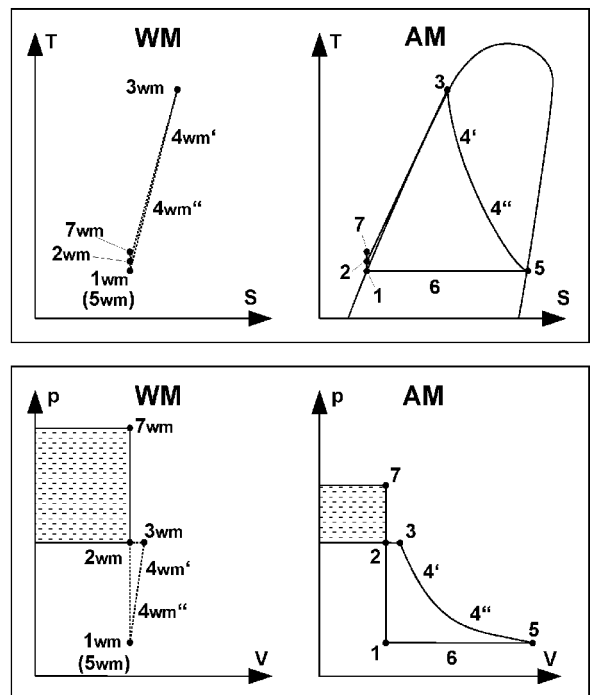
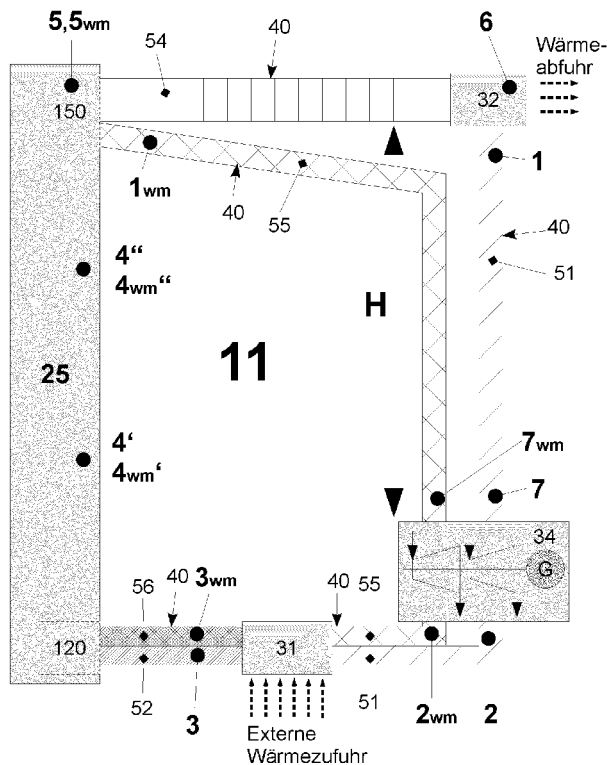
Die Bezugnahmen auf die Zeichnung(en) Nr. 27 gelten als gestrichen (R. 56(4)(6) EPÜ).

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR UMWANDLUNG VON NIEDERTEMPERATURWÄRME IN TECHNISCH NUTZBARE MECHANISCHE ENERGIE**

(57) In einem zweistufigen Verfahren (Fig.5) wird thermische Energie aus einer Niedertemperaturquelle mit Temperaturen von maximal 200°C unter Realisierung eines neuartigen E-TLC-Prozesses in einem ersten En-

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

Fig. 5



2021-04-06 KRo

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme mit einer Temperatur von weniger als 200°C in technisch nutzbare mechanische Energie und nachfolgend elektrischer 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 den theoretisch 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 Druckverringern 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

stellen hohe technische Anforderungen an die verwendete Vorrichtung.

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

- US 3 169 375 A benennt Rotationsmaschinen
- US 4 557 112 A benennt Screw- und Vaneexpander
- US 7 093 503 B1 und DE 10 2007 041 457 A1 nennen Turbinensysteme
- WO 00 2007 115 769 A2 verweist auf Kolbenmaschinen

[0008] Die Fachliteratur benennt überdies Scroll expander und weitere Varianten von Rotary-Vane-Expander als Expansionsmaschine.

[0009] Weiterhin bekannt sind:

- DE 34 20 293 A1 - ein Organic-Rankine-Cycle(ORC) System mit niedrigsiedenden Arbeitsmittel bzw. -gemischen zur Gewinnung von Energie aus Niedertemperaturwärme
- US 2012 / 0 112 473 A1 - ein System zur Meerwasserentsalzung mit solarer Niedertemperaturwärme und Energiegewinnung in einem Dampfkraftprozess bzw. Wasserkraftwerk
- GB 280 926 A - ein System zur Gewinnung von Trockendampf durch eine Expansionsverdampfung eines überhitzten Arbeitsmittels

[0010] Diese Vorrichtungen wurden zumeist als Kompressionsmaschinen für die Komprimierung von Gasen entwickelt oder aus Maschinen für andere Wärmekraftprozessen abgeleitet und weisen für eine Expansionsverdampfung nach

dem TLC-Prozess teils ungünstige Parameter auf.

[0011] Dazu gehören:

- Die p-V-Kennlinie der Vorrichtung entspricht nicht oder nur ungenügend der p-V-Verdampfungskennlinie 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)
- Bauteilschädigungen durch Tröpfchenerosion, ausgelöst durch eine schnelle, schlagartige Entspannungsverdampfung

[0012] 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.

Aufgabe der Erfindung

[0013] Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine technische Lösung zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in technisch nutzbare Energie unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung ähnlich dem TLC-Prozess nach Fig. 1 bei gleichzeitiger Beseitigung der Nachteile der bisher bekannten Vorrichtungen.

[0014] 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

[0015] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß wie in den Ansprüchen definiert gelöst durch einen neuartigen "Extended-TLC-Prozess", 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 von Prozessmedien in potentielle Energie der Prozessmedien durch Anheben der Prozessmedien von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem Extended-TLC-Prozess
- Zweite Wandlung: Umwandlung der potentiellen Energie der Prozessmedien in technisch nutzbare Energie durch Rückführung der Prozessmedien vom oberen auf das untere Niveau und Umwandlung des statischen Druckes der Prozessmedien in mechanische Energie, z.B. in einem Hydraulikmotor / -turbine

[0016] Neu sind:

- Der "Extended-TLC" Prozess
- Die erste Energiewandlungsvorrichtung und das Verfahren zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie unter Realisierung einer Entspannungsverdampfung nach dem Extended-TLC-Prozess

- Die Vorrichtung und das Verfahren der zweimaligen Wandlung unter Verwendung der neuartigen ersten Energiewandlungsvorrichtung

[0017] Zur besseren Unterscheidbarkeit wird:

- Der "Extended-TLC" Prozess nachfolgend **E-TLC Prozess** genannt
- die erste Energiewandlungsvorrichtung zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie nachfolgend **"Erster Energiewandler"** genannt
- die Vorrichtung mit zweimaliger Energiewandlung 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 neuartigen E-TLC-Prozess nachfolgend als **"E-TLC2-Prozess"** bezeichnet.

[0018] Die in Fig.1 benutzten Bezugszeichen des TLC-Prozesses werden bei Darstellungen des E-TLC und des E-TLC2-Prozesses identisch verwendet.

Der neuartige E-TLC-Prozess

[0019] Wesentliche Merkmale des neuartigen E-TLC-Prozesses (siehe Fig.3) im Vergleich zum bekannten TLC-Prozess nach Fig.1 sind:

- die Verwendung eines Wärmeträgermediums (nachfolgend vereinfacht **Wärmemedium** genannt) als interner Wärmespeicher
- die vollständige Verdampfung des Arbeitsmittels (vgl. TLC-Prozess: teilweise Verdampfung)
- die Verdampfung in einer polytropen Verdampfung (vgl. TLC-Prozess: isentrope Verdampfung)

[0020] Wie später gezeigt wird, ergeben sich durch die Nutzung eines vollständig verdampfenden Arbeitsmittels und eines zusätzlichen Wärmemediums völlig neue Lösungswege für die technische Realisierung und Steuerung einer Vorrichtung zur Umwandlung von Niedertemperatur-Wärme in technisch nutzbare Energie.

Gesamtsystem mit zweimaliger Energiewandlung (E-TLC2-Prozess)

[0021] Kernkomponente des Gesamtsystems 11 nach Fig. 5 ist der erste Energiewandler 25.

[0022] In Fig. 4 sind die dazu gehörigen thermodynamischen Details des zweistufigen E-TLC2-Prozesses für das Gesamtsystem 11 sowie das dazugehörige T-S und p-V-Diagramm dargestellt.

[0023] Das am Punkt 2 (Fig.5 unten) unter Druck stehende Arbeitsmittel 51 und das ebenfalls unter Druck stehende Wärmemedium 55 werden in einem Wärmetauscher 31 durch extern zugeführte thermische Energie auf gleiche Temperatur erwärmt und dem ersten Energiewandler 25 zugeführt.

[0024] Im ersten Energiewandler 25 zur Wandlung thermischer Energie in potentielle Energie wird der Schritt der Entspannungsverdampfung (siehe Fig.4, 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.

[0025] Das durch den ersten Energiewandler 25 angehobene und vollständig verdampfte Arbeitsmittel wird nach Austritt aus dem ersten Energiewandler 25 aufgefangen, der Arbeitsmitteldampf 54 kondensiert, gesammelt und unter Verrichtung von mechanischer Arbeit in einem zweiten Energiewandler 34 wieder zum unteren Niveau zurückgeführt.

[0026] Das flüssig verbliebene Wärmemedium wird ebenfalls aufgefangen und unter Verrichtung von mechanischer Arbeit im zweiten Energiewandler 34 wieder zum unteren Niveau zurückgeführt. Abweichend zum E-TLC-Prozess nach Fig. 3 gibt es beim zweistufigen E-TLC2-Prozess zwischen den thermodynamischen Punkten 1 und 2 einen weiteren Punkt 7, an dem das kalte Arbeitsmittel 51 und das kalte Wärmemedium 55 einen höheren Druck aufweisen, als nach dem E-TLC-Prozess am Punkt 2 erforderlich ist. Diese Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 des E-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.

[0027] Das Produkt aus Druckdifferenz und Volumen des Arbeitsmittels und des Wärmemediums entspricht der im ersten Energiewandler 25 in potentielle Energie gewandelten thermischen Energie.

Der erste Energiewandler

[0028] Die physikalische und technische Grundlage für den ersten Energiewandler 25 (siehe Fig. 6a) sind jeweils

durch zwei Kolben 170 begrenzte und mit warmem Arbeitsmittel AM und warmen Wärmemedium WM gefüllte Arbeitsbereiche AB.

[0029] Eine Vielzahl dieser durch Kolben 170 getrennter Arbeitsbereiche sind übereinander in einem aufwärts gerichteten Rohr angeordnet (siehe Fig. 6b).

[0030] Jeder Arbeitsbereich steht dabei unter einem lokalen Arbeitsdruck p_A , der durch die im Rohr über dem jeweiligen Arbeitsbereich befindlichen, weiteren Arbeitsbereiche erzeugt wird.

[0031] Entsprechend der Anzahl der oberhalb eines einzelnen Arbeitsbereiches befindlichen weiteren Arbeitsbereiche und dem dadurch in einem einzelnen Arbeitsbereich herrschenden lokalen Arbeitsdruck p_A ist das Arbeitsmittel AM in einer Entspannungsverdampfung - bei gleichzeitiger Vergrößerung des Volumens des Arbeitsbereiches - teilweise (unterer und mittlerer Bereich) oder vollständig (oberer Bereich) verdampft und abgekühlt. Die für das vollständige Verdampfen des Arbeitsmittels benötigte thermische Energie wird dem Wärmemedium entzogen sodass dieses ebenfalls abgekühlt wird (siehe Fig.4 und Fig. 6b).

[0032] Durch Zuführung neuer Arbeitsbereiche (siehe Fig. 6b) 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.

[0033] Das verringert den lokalen Arbeitsdruck p_A für alle nachfolgenden Arbeitsbereiche.

[0034] Diese Druckverringerung führt bei allen Arbeitsbereichen im Rohr zu kleinen Entspannungsverdampfungen und damit kleinen Volumenvergrößerungen jedes einzelnen Arbeitsbereiches und folglich einem Anheben aller darüber befindlichen Arbeitsbereiche.

[0035] Die Summe dieser vielen kleinen Volumenvergrößerungen ergibt eine große Volumenvergrößerung, die den obersten Arbeitsbereich stark anhebt (siehe Fig.6b - resultierende Wegänderung) und - nach Zuführung eines neuen Arbeitsbereiches auf dem unteren Niveau - ebenfalls auf dem oberen Niveau austreten lässt.

[0036] Damit dieser Vorgang sich kontinuierlich wiederholt, werden auf dem unteren Niveau ständig neue Arbeitsbereiche mit warmem Arbeitsmittel und warmem Wärmemedium unter einem Dosierdruck p_D zugeführt.

[0037] Die in Fig.6a und 6b dargestellte strikte Trennung von Wärmemedium und Arbeitsmittel dient der verständlichen Darstellung der Vorgänge innerhalb eines Arbeitsbereiches während der Bewegung vom unteren zum oberen Niveau. In der Realität kommt es innerhalb eines Arbeitsbereiches AB zu einer Vermischung von Wärmemedium und Arbeitsmittel zu einem **Arbeitsgemisch AG** (siehe Fig.6c).

[0038] Durch die Verdampfung des Arbeitsmittels während der Bewegung vom unteren zum oberen Niveau unterliegt das Arbeitsgemisch einer ständigen Veränderung des Mischungsverhältnisses bis auf dem oberen Niveau das Arbeitsmittel vollständig verdampft ist und das Wärmemedium allein als Flüssigkeit verbleibt.

Optimierung des Gesamtsystems

[0039] Die Betrachtung von Wärmemedium und Arbeitsmittel als Arbeitsgemisch legt die Möglichkeit einer vorteilhaften Optimierung des in Fig.5 dargestellten Gesamtsystems 11 nahe.

[0040] In Fig.7 ist das optimierte Gesamtsystem 12 mit einer Mischkammer 33 zur Herstellung des Arbeitsgemisches AG bereits außerhalb des ersten Energiewandlers dargestellt.

[0041] Im Ergebnis der Optimierung ist nur noch ein einteiliger zweiter Energiewandler 34 und ein einteiliger Wärmetauscher 31 anstelle von zweigeteiltem zweitem Energiewandler und Wärmetauscher nach Fig.5 erforderlich.

Weiterentwicklung des ersten Energiewandlers

[0042] Das in Fig.6 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.

[0043] 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. 10a-b) dadurch vermieden werden, dass zwischen zwei Arbeitsbereiche AB ein zusätzlicher Gewichtsbereich GB gefüllt mit einem Gewichtsmedium 60 eingefügt wird (siehe Fig. 10a). Das Gewichtsmedium ist - im Gegensatz zum Arbeitsmittel und Wärmemedium - nicht durch die Wärmequelle erwärmt.

[0044] Das Gewichtsmedium bewirkt - bei ansonsten gleichen Abläufen wie zu Fig 6 beschrieben - durch sein Eigengewicht eine Erhöhung des Arbeitsdruckes p_A auf jeden im aufwärts gerichteten Rohr befindlichen Arbeitsbereich AB. Damit ist es möglich - wie noch gezeigt wird - die erforderliche Höhe des aufwärts führenden Rohres zum Aufbau des Arbeitsdruckes p_A deutlich zu reduzieren.

[0045] In Fig. 11 ist das Gesamtsystem 15 mit einem **weiterentwickelten ersten Energiewandler** 26 dargestellt, dessen Aufbau weitestgehend identisch mit dem Gesamtsystem 11 nach Fig. 5 ist.

[0046] Der in Fig. 12 dargestellte Aufbau des Gesamtsystems 16 mit einem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 und externer Herstellung eines Arbeitsgemisches ist weitestgehend identisch mit dem Gesamtsystem 12 nach Fig. 7. Neu ist bei beiden Gesamtsystemen die zusätzliche Zuführung von Gewichtsmedium 60 zum weiterentwickelten ersten Energiewandler 26.

[0047] Die thermodynamischen Abläufe des E-TLC2-Prozesses nach Fig. 4 gelten auch für die Gesamtsysteme 15 und 16 mit dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26.

[0048] Die durch die geringere Höhe der Gesamtsysteme 15 und 16 verringerte Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 wird für den zweiten Energiewandler 34 durch ein größeres Volumen aus Arbeitsmittel, Wärmemedium und Gewichtsmedium kompensiert (siehe Fig. 11+12, p-V-Diagramme). Eine Variation der Menge des Arbeitsgemisches (Wärmemedium und Arbeitsmittel) bzw. des Gewichtsmediums ermöglicht eine leichte Regelung des Gesamtsystems.

[0049] 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 ausgedehnt wird.

Optimierung der weiterentwickelten Gesamtsysteme

[0050] Wie in Fig. 11 und 12 dargestellt erfordert die Nutzung eines Gewichtsmediums in den Gesamtsystemen 15 und 16 die Nutzung eines zweiteiligen zweiten Energiewandlers 34.

[0051] Dies kann durch die Nutzung von Arbeitsgemisch als Gewichtsmedium wie in Fig. 13 dargestellt vermieden werden.

Weitere Gestaltungsvarianten des Gesamtsystems

[0052] Unter Ausnutzung der unterschiedlichen Dichte von Arbeitsmedium und Wärme- bzw. Gewichtsmedium sind verschiedene Gestaltungsvarianten des Gesamtsystems zur Umwandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie, möglich. Je nach Einsatzbereich (Quelle der Niedertemperaturwärme, Wärmesenke, Temperaturdifferenz) sind dadurch technische Vorteile erzielbar.

[0053] So kann, wie in Fig. 8, 14 und 15 dargestellt, die Höhe des Gesamtsystems zwischen Kondensationsvorrichtung und der Wärmezufuhr soweit reduziert werden, dass der entstehende Flüssigkeitsdruck des Arbeitsmittels bzw. des Arbeitsgemisches dem am Punkt 2 erforderlichen Arbeitsdruck entspricht. Die bisher zur Energiegewinnung genutzte Druckdifferenz zwischen dem - nicht mehr gegebenen - Punkt 7 und 2 verschwindet. Der Verlust an potentieller Energie des Arbeitsmittels bzw. Arbeitsgemisches wird kompensiert durch das größere nutzbare Volumen von Wärme- bzw. Gewichtsmedium. Die Summe der technisch nutzbaren Energiemenge bleibt gleich. Steht die weitere Verringerung der Höhe der Gesamtsystems im Vordergrund, ist, wie in Fig. 9 und 16 dargestellt, auch der Einsatz einer zusätzlichen Druckerhöhungspumpe 35 möglich.

[0054] Allerdings sinkt hierdurch die abzugebende technisch nutzbare Energiemenge.

Leistungserhöhung durch Parallelisierung

[0055] Das Prinzip und die einfache Technik des ersten Energiewandlers 25 und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 zur Wandlung thermischer Energie in potentielle Energie erlaubt es, beliebig viele aufwärts führende Rohre zur Energiewandlung parallel zu bauen (siehe Fig. 17, exemplarisch dargestellt am Beispiel Gesamtsystem 12).

[0056] 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.

[0057] Mit einer Parallelisierung sind Leistungen bis weit in den Megawattbereich erzielbar.

[0058] Mit der Nutzung des neuartigen E-TLC-Prozesses, 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 verdampften gasförmigen 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 0,001MPa (0,01bar) 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 Wärmemediums, des Gewichtsmittels oder der Betriebsweise im weiterentwickelten ersten Energiewandler eine einfache Anpassung 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

[0059] Die Vorteile des erfindungsgemäßen zweistufigen E-TLC2-Verfahrens zur Wandlung von thermischer Energie nach dem E-TLC2-Prozess in technisch nutzbare Energie sind:

- die thermodynamisch anspruchsvollen Vorgänge der Wandlung der thermischen Energie nach dem E-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 jede der beiden Energiewandlungsstufen für ihre jeweilige Aufgabe optimiert werden kann
- Der zu Prozessbeginn erforderliche Arbeitsdruck für das Arbeitsmittel, das Wärmemedium und ggf. das Gewichtsmittel wird verfahrens- und vorrichtungsintern ohne die nach dem Stand der Technik erforderliche Druckpumpe erzeugt
- dies senkt die technisch bedingten Verluste, erhöht den technischen Wirkungsgrad und bringt ökonomische Vorteile
- je nach Einsatzfall kann aus verschiedenen Bauweisen des Gesamtsystems die optimale Bauform zur Realisierung eines E-TLC2-Prozesses ausgewählt werden

Auflistung der Abbildungen

[0060]

- 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 neuartigen E-TLC-Prozesses
- Fig. 4 - Thermodynamik des neuartigen E-TLC2-Prozesses
- Fig. 5 - Darstellung Gesamtsystem 11 nach dem E-TLC2-Prozess
- Fig. 6 - Funktionsprinzip erster Energiewandler 25
- Fig. 7 - Darstellung optimiertes Gesamtsystem 12 mit Mischkammer 33
- Fig. 8 - Darstellung Gesamtsystem 13 mit ersten Energiewandler 25 bei reduzierter Höhe
- Fig. 9 - Darstellung Gesamtsystem 14 mit reduzierter Höhe und Druckerhöhungspumpe 35
- Fig. 10 - Funktionsprinzip weiterentwickelter erster Energiewandler 26
- Fig. 11 - Darstellung Gesamtsystem 15 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26
- Fig. 12 - Darstellung Gesamtsystem 16 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26 und Mischkammer 33
- Fig. 13 - Darstellung Gesamtsystem 17 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26 und Arbeitsgemisch als Gewichtsmittel
- Fig. 14 - Darstellung Gesamtsystem 18 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26 bei reduzierter Höhe
- Fig. 15 - Darstellung Gesamtsystem 19 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26 und Mischkammer 33 bei reduzierter Höhe
- Fig. 16 - Darstellung Gesamtsystem 20 mit weiterentwickeltem ersten Energiewandler 26 und Druckerhöhungspumpe 35 bei reduzierter Höhe
- Fig. 17 - Darstellung Gesamtsystem 12 mit mehreren parallelen ersten Energiewandlern 25
- Fig. 18 - Thermodynamik des modifizierten mE-TLC2-Prozesses
- Fig. 19 - Darstellung Gesamtsystem 211 nach dem mE-TLC2-Prozess mit ersten Energiewandler 25
- Fig. 20 - Darstellung Gesamtsystem 212 nach dem mE-TLC2-Prozess mit ersten Energiewandler 25 und Arbeitsgemisch
- Fig. 21 - Darstellung Gesamtsystem 216 nach dem mE-TLC2-Prozess mit ersten Energiewandler 26 und Arbeitsgemisch

- Fig. 22 - Darstellung Gesamtsystem 219 nach dem mE-TLC2-Prozess mit ersten Energiewandler 26 und Arbeitsgemisch bei reduzierter Höhe
- Fig. 23 - Darstellung erster Energiewandler 25
- Fig. 24 - Darstellung erste Energiewandler 25 mit Zuführung Arbeitsgemisch
- Fig. 25 - Darstellung weiterentwickelter erster Energiewandler 26
- Fig. 26 - Darstellung weiterentwickelter erster Energiewandler 26 mit Zuführung Arbeitsgemisch
- Fig. 27 - Darstellung der Variation möglicher Betriebszustände der ersten Energiewandler 25 und 26 im T-S-Diagramm
- Fig. 28 - Darstellung möglicher Gestaltungsvarianten des Rohrsystems auf dem unteren bzw. oberen Niveau

Auflistung der verwendeten Bezugszeichen und Nummerierungen

Bezugszeichen

[0061]

- AB - Arbeitsbereich
- AG - Arbeitsgemisch aus Wärmedium und Arbeitsmittel, allgemein verwendet
- AM - Arbeitsmittel, allgemein verwendet
- GB - Gewichtsgebiet
- H - Fallhöhe
- WM - Wärmedium, allgemein verwendet
- pA - Arbeitsdruck
- pD - Dosierdruck
- pK - Druck Kolbenstapel

Ziffern 1 - 7 --- Punkte für bestimmte thermodynamische Zustände in T-S und p-V Diagrammen

[0062]

- Ziffer ohne Zusatz kennzeichnet Zustandspunkt für das Arbeitsmittel
- Zusatz "...wm" kennzeichnet Zustandspunkt für das Wärmedium
- Zusatz "...gm" kennzeichnet Zustandspunkt für das Gewichtsmedium
- Zusatz "...ag" kennzeichnet Zustandspunkt für das Arbeitsgemisch aus Wärmedium und Arbeitsmittel

Ziffern 10 - 99 --- Bestandteile Gesamtsystem

[0063]

- 11 - Gesamtsystem mit erstem Energiewandler 25 und interner Erzeugung eines Arbeitsgemisches
- 12 - Gesamtsystem mit erstem Energiewandler 25 und externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches
- 13 - Gesamtsystem mit erstem Energiewandler 25, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches bei reduzierter Höhe
- 14 - Gesamtsystem mit erstem Energiewandler 25, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches bei reduzierter Höhe und zusätzlicher Druckerhöhungspumpe 35
- 15 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, interner Erzeugung eines Arbeitsgemisches und Wärmedium als Gewichtsmedium
- 16 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches und Wärmedium als Gewichtsmedium
- 17 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches und Arbeitsgemisch als Gewichtsmedium
- 18 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches mit Druckaufbau durch Arbeitsmittel und Wärmedium als Gewichtsmedium bei reduzierter Höhe
- 19 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches mit Druckaufbau durch Arbeitsgemisch und Wärmedium als Gewichtsmedium bei reduzierter Höhe
- 20 - Gesamtsystem mit weiterentwickeltem erstem Energiewandler 26, externer Erzeugung eines Arbeitsgemisches, Wärmedium als Gewichtsmedium sowie zusätzlicher Druckerhöhungspumpe 35 für das Arbeitsmittel bei reduzierter Höhe
- 25 - Erster Energiewandler thermische zu potentielle Energie

- 26 - Weiterentwickelter erster Energiewandler thermische zu potentielle Energie
- 31 - Wärmetauscher zur Aufnahme von Wärmeenergie
- 32 - Dampfverflüssiger für Arbeitsmitteldampf
- 33 - Mischkammer für Arbeitsmedium und Wärmemedium
- 5 • 34 - Zweiter Energiewandler, potentielle zu technisch nutzbare Energie
- 35 - Druckerhöhungspumpe
- 40 - Zuführungen, allgemein
- 41 - Zuführung Gewichtsmedium
- 51 - Arbeitsmittel, flüssig, kalt
- 10 • 52 - Arbeitsmittel, flüssig, warm
- 53 - Arbeitsmittel, dampfförmig, warm
- 54 - Arbeitsmittel, dampfförmig, kalt
- 55 - Wärmemedium, flüssig, kalt
- 56 - Wärmemedium, flüssig, warm
- 15 • 58 - Arbeitsgemisch aus Wärmemedium und Arbeitsmedium, kalt
- 59 - Arbeitsgemisch aus Wärmemedium und Arbeitsmedium, warm
- 60 - Gewichtsmedium, flüssig

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

[0064]

- 110 - Rohrbogen, unteres Niveau
- 120 - Einbringvorrichtung, allgemein
- 25 • 121 - Einbringvorrichtung für Arbeitsmittel und Wärmemedium bzw. Arbeitsgemisch
- 122 - Einbringvorrichtung für Arbeitsmittel und Wärmemedium bzw. Arbeitsgemisch sowie Gewichtsmedium
- 125 - Kolben-Stopvorrichtung
- 126 - Dosiervorrichtung
- 130 - Aufstiegsrohr
- 30 • 140 - Rohrbogen, oberes Niveau
- 150 - Separierungsvorrichtung zur Trennung von Flüssigkeiten und Arbeitsmitteldampf
- 160 - Abstiegsrohr
- 170 - Einzelkolben
- 171 - Kolbenstapel

Detaillierte Beschreibung des E-TLC-Prozesses

[0065] Wesentliches Merkmal des neuartigen E-TLC-Prozesses nach Fig.3 im Vergleich zum bekannten TLC-Prozess nach Fig.1 ist die Verwendung eines Wärmemediums sowie die vollständige Verdampfung des Arbeitsmittels in einen polytropen Verdampfungskurve.

[0066] Der TLC-Prozess nach Smith (Fig.1) nutzt die vom Arbeitsmittel aufgenommene thermische Energie zum Verdampfen. Da die zum Verdampfen benötigte Energiemenge größer ist als die aufgenommene Energiemenge führt dies stets zu einer nur teilweisen Verdampfung des Arbeitsmittels.

[0067] Beim E-TLC Prozess wird dem Arbeitsmittel durch das erwärmte Wärmemedium während der Phase der Entspannungsverdampfung ein wesentlicher Teil der zum vollständigen Verdampfen benötigten thermischen Energie zugeführt (siehe Fig.3, T-S-Diagramm). Dabei geht das Wärmemedium zu keinem Zeitpunkt in Dampf über und verbleibt stets in seinem flüssigen Zustand.

[0068] Das Arbeitsmittel durchläuft damit eine polytrope Entspannungsverdampfung (vgl. Fig.1, TLC-Prozess: isentrope Entspannungsverdampfung). Betrachtet man die Summe der im erwärmten Arbeitsmittel und erwärmten Wärmemedium enthaltenen Wärmemenge - ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Wärmekapazitäten - entspricht diese der in Verdampfung des Arbeitsmittels umgesetzten Energiemenge. D.h. im direkten Vergleich von TLC- und E-TLC-Prozess wird bei gleicher Menge an aufgenommener Wärmeenergie die gleiche Menge thermischer Energie durch Verdampfung von Arbeitsmittel umgewandelt.

[0069] Durch die Nutzung eines separaten Wärmemediums mit anderen, vorteilhaften physikalischen und chemischen Eigenschaften (z.B. Dichte, Wärmekapazität) sowie der gezielten Mischung von Arbeitsmittel und Wärmemedium zu einem **Arbeitsgemisch AM** ergeben sich jedoch völlig neue Ansätze für die technische Realisierung einer Vorrichtung zur Umwandlung von Niedertemperatur-Wärme in eine technisch nutzbare Energieform wie sie mit Nutzung eines reinen Arbeitsmittels nach dem TLC-Prozess nicht möglich wären.

Detaillierte Beschreibung des E-TLC2-Verfahrens und der Gesamtsysteme zur Wandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie

[0070] Die nachfolgende Beschreibung stellt die Arbeitsweise des Gesamtsystems 11 (Fig.5) und des weiterentwickelten Gesamtsystems 15 (Fig.11) gemeinsam dar.

[0071] Auf Unterschiede wird im Text eingegangen. Die Beschreibung der thermodynamischen Schritte folgt dabei dem Verlauf des E-TLC2-Prozesses nach Fig.4.

[0072] Die Gesamtsysteme 12 (Fig.7) sowie 16 (Fig.12) sind Variationen der Gesamtsysteme 11 bzw. 15 mit Nutzung eines Arbeitsgemisch AG bestehend aus Arbeitsmittel AM und Wärmedium WM. Ihre Arbeitsweise entspricht den Gesamtsystemen 11 bzw. 15.

[0073] Zum besseren Verständnis sind in den Abbildungen 5,7,11 und 12 die T-S-Diagramme und die p-V-Diagramme des jeweiligen Gesamtprozesses, getrennt nach Arbeitsmittel (ohne Index), Wärmedium (Index "wm"), Gewichtsmedium (Index "gm") bzw. Arbeitsgemisch (Index "ag") dargestellt.

[0074] Die schraffierte Fläche in den p-V-Diagrammen entspricht dabei der in technisch nutzbare Arbeit umgesetzten thermischen Energie des jeweiligen Mediums. Die Summe der umgewandelten thermischen Energie ist für alle Gesamtsysteme bei gleichen Eingangsparametern (Menge der aufgenommenen thermischen Energie) gleich groß.

[0075] Die Gesamtsysteme 13,14 (Fig.8,9) sowie 17-20 (Fig.13-16) stellen weitere vorteilhafte Variationen der Gesamtsysteme 11 bzw. 15 dar. Ihre grundlegende Arbeitsweise entspricht dabei den Gesamtsystemen 11 bzw. 15. Auf Unterschiede wird im Text eingegangen.

[0076] Die erfindungsgemäßen Gesamtsysteme 11-14 (Fig.5, 7-9) zur Wandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Energie bestehen zumindest aus den Bestandteilen:

- Einem Wärmetauscher 31 zur Erwärmung des unter Druck stehenden Arbeitsmittels 52, des Wärmediums 55 bzw. des Arbeitsgemisches 58 durch eine Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- Einem ersten Energiewandler 25 zur Wandlung der aufgenommenen thermischen Energie in potentielle Energie
- Einer Dampfverflüssigungsvorrichtung 32
- Einem zweiten Energiewandler 34 zur Wandlung der potentiellen Energie des Arbeitsmittels 51, des Wärmediums 55 bzw. des Arbeitsgemisches 58 in eine technisch nutzbare Energieform
- Zuführungen 40 zur Verbindung der einzelnen Bestandteile
- Zusätzlich weisen die Gesamtsysteme 12-14 eine Mischkammer 33 zur Herstellung eines Arbeitsgemisches 58 auf

[0077] Die erfindungsgemäßen weiterentwickelten Gesamtsysteme 15-20 (Fig.10-16) bestehen zumindest aus den Bestandteilen:

- Einem Wärmetauscher 31 zur Erwärmung des unter Druck stehenden Arbeitsmittels 51, des Wärmediums 55 bzw. des Arbeitsgemisches 58 durch eine Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung
- Einem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 zur Wandlung der aufgenommenen thermischen Energie in potentielle Energie
- Einer Dampfverflüssigungsvorrichtung 32
- Einem zweiten Energiewandler 34 zur Wandlung der potentiellen Energie des Wärmediums, des Arbeitsmittels, des Gewichtsmediums bzw. des Arbeitsgemisches in eine technisch nutzbare Energieform
- Zuführungen 40 zur Verbindung der einzelnen Bestandteile
- Einer Zuführung 41 zur Zuführung von Gewichtsmedium 60 zum weiterentwickelten ersten Energiewandler 26
- Zusätzlich weisen die Gesamtsysteme 16-20 eine Mischkammer 33 zur Herstellung eines Arbeitsgemisches 58 auf

[0078] Nicht in den Abbildungen dargestellt werden verschiedene Hilfssysteme, da ihre Position und Funktion vielfältig gelöst werden kann.

[0079] Hilfssysteme können z.B. sein:

- Absaugung von nicht kondensierbaren Gasen
- Filtersysteme zur Reinigung des Arbeitsmittels und des Wärmediums von Fremdstoffen
- Austreiber zur vollständigen Trennung von Arbeitsmittel und Wärmedium
- Meßsensoren sowie Prozess-Steuerungs- und Regeltechnik
- Vorratsbehälter
- Wärmespeicher

[0080] In allen Gesamtsystemen 11-20 erfolgt die Umwandlung der thermischen Energie in technisch nutzbare Energie nach dem E-TLC2-Prozess (siehe Fig. 4) in den Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Isobares Erwärmen (Fig.4: Pkt.2 - Pkt.3) des unter Dosierdruck (pD) stehenden flüssigen Arbeitsmittels und des unter Dosierdruck (pD) stehenden flüssigen Wärmemedium (55) - die auch als Arbeitsgemisch (58) vorliegen können - aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt b:** Polytrope Umwandlung (Fig.4: Pkt.3 - Pkt.5) der aufgenommenen thermischen Energie in mindestens einem ersten Energiewandler 25 oder 26 in potentielle Energie
- **Schritt c:** Isobares Kondensieren (Fig.4: Pkt.5 - Pkt.1) des vollständig verdampften Arbeitsmittels
- **Schritt d:** Isochore Umwandlung (Fig.4: Pkt.1 - Pkt.7) der gewonnenen potentiellen Energie über die Fallhöhe H in statischen Druck
- **Schritt e:** Isochore Umwandlung (Fig.4: Pkt.7 - Pkt.2) eines Teils des statischen Druckes im zweiten Energiewandler 34 in technisch nutzbare mechanische Energie

Thermodynamischer Punkt 2

[0081] Startpunkt des Energieumwandlungsprozesses ist Punkt 2 des E-TLC2-Prozesses (siehe Fig.4, T-S und p-V-Diagramm) im unteren Bereich der Gesamtsysteme 11-20 (Fig.5,7-9,11-16).

[0082] Das kalte flüssige Arbeitsmittel 51 und das kalte Wärmemedium 55 (Gesamtsystem 11,15) bzw. das kalte Arbeitsgemisch (Gesamtsystem 12-14,16-20) stehen unter Druck und werden durch Zuführungen 40 dem Wärmetauscher 31 zur Aufnahme von thermischer Energie aus der Niedertemperaturwärmequelle zugeführt und darin erwärmt ohne eine Verdampfung des Arbeitsmittels.

[0083] Als Niedertemperaturwärmequelle können neben Erdwärme, Meereswärme, Solarwärme, Abwärme aus technischen Prozessen (z.B. Stahl- und Kunststoffindustrie), Wärme aus Kühlprozessen (z.B. Kühltürme, Rechenzentren) auch Wärme aus Verbrennungsprozessen (z.B. Reststoffverbrennung, Biogas) oder Restwärme anderer Prozesse (z.B. chemische Industrie) genutzt werden.

[0084] 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.

[0085] Bei der Auswahl des Arbeitsmittels ist zu beachten, dass chemische Reaktionen des Arbeitsmittels mit einzelnen Bestandteilen des Gesamtsystems vermieden werden.

[0086] Bevorzugtes Wärmemedium ist aufgrund seiner Wärmekapazität Wasser. Es können aber auch andere temperaturstabile Stoffe, die im vorgesehenen Temperaturbereich flüssig bleiben, sich nicht zersetzen oder gefrieren und keine chemische Reaktion oder anderweitige Wechselwirkung mit dem Arbeitsmittel eingehen, zum Einsatz kommen. Zudem sollte es keine chemischen Reaktionen des Wärmemediums mit einzelnen Bestandteilen des Gesamtsystems geben.

Thermodynamischer Punkt 3

[0087] Das aus dem Wärmetauscher 31 austretende und auf gleiche Temperatur erwärmte Arbeitsmittel 52 und Wärmemedium 56 (Gesamtsystem 11,15) bzw. das erwärmte Arbeitsgemisch (Gesamtsystem 12-14,16-20) fließen anschließend durch thermisch isolierte Zuführungen 40 dem ersten Energiewandler 25 (Gesamtsystem 11-14) bzw. dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 (Gesamtsystem 15-20) zu.

[0088] In den weiterentwickelten Gesamtsystemen 15-20 (Fig.11-16) fließt zusätzlich kaltes Gewichtsmedium 60 durch Zuführungen 41 dem ersten Energiewandler 26 zu.

[0089] Bevorzugtes Gewichtsmedium ist das Wärmemedium, bevorzugt Wasser, aufgrund seiner hohen Dichte. Es kann aber auch kaltes Arbeitsgemisch (siehe Gesamtsystem 17), reines Arbeitsmittel oder eine zusätzliche Flüssigkeit als Gewichtsmedium zum Einsatz kommen.

[0090] Letztere Varianten werden hier als technisch mögliche Lösungen erwähnt, aber nicht weiter ausgeführt.

Thermodynamische Punkte 4' und 4"

[0091] Im ersten Energiewandler 25 (Gesamtsystem 11-14) bzw. dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 (Gesamtsystem 15-20) wird die aufgenommene thermische Energie des warmen Arbeitsmittels 52 und des warmen Wärmemediums 56 bzw. des entstandenen warmen Arbeitsgemisches 59 entsprechend dem E-TLC- bzw. E-TLC2-Prozess (Fig.3,4 Punkte 4' und 4") durch eine Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels unter Verrichten von Volumenänderungsarbeit in Form von Hubarbeit in potentielle Energie umgewandelt. Das Wärmemedium kühlt sich hierbei durch Wärmeabgabe an das Arbeitsmittel ab.

[0092] Das Arbeitsmittel und das Wärmemedium bzw. das Gewichtsmedium (letzteres nur Gesamtsysteme 15-20)

werden vom unteren zum oberen Bereich angehoben.

Thermodynamische Punkt 5

- 5 [0093] Im oberen Bereich der ersten Energiewandler 25,26 ist das Arbeitsmittel entsprechend dem E-TLC bzw. E-TLC2-Prozess (Fig.3,4 Punkt 5) vollständig verdampft und abgekühlt.
 [0094] Das flüssig verbliebene Wärmemedium 55 ist ebenfalls abgekühlt.
 [0095] Das verdampfte und abgekühlte Arbeitsmittel 54 und das flüssig verbliebene, kalte Wärmemedium 55 verlassen auf dem oberen Niveau den ersten Energiewandler 25 (Gesamtsystem 11-14) bzw. den weiterentwickelten ersten
 10 Energiewandler 26 (Gesamtsystem 15-20).
 [0096] In den weiterentwickelten Gesamtsystemen 15-20 vermischt sich dabei das kalte Gewichtsmedium 60 mit dem kalten Wärmemedium 55 und vergrößert das Volumen des Wärmemediums 55.

Thermodynamischer Punkt 6

- 15 [0097] Das verdampfte Arbeitsmittel 54 strömt nach Verlassen der ersten Energiewandler 25 bzw. 26 der Dampfverflüssigungseinrichtung 32 zu und wird hier unter Reduzierung der Entropie (Fig.3,4 T-S-Diagramm Punkt 6) wieder verflüssigt.
 [0098] Ggf. entstandene, nicht kondensierbare Gase werden hier abgesaugt.

Thermodynamischer Punkt 1

- 20 [0099] Mit dem Austritt des Wärmemediums bzw. des Gewichtsmediums aus den ersten Energiewandlern 25 bzw. 26 und dem Austritt des verflüssigten Arbeitsmediums aus der Dampfverflüssigungseinrichtung 32 auf dem oberen Niveau des Gesamtsystems ist der Punkt 1 des E-TLC bzw. E-TLC2-Prozesses (Fig.3,4 Punkt 1) erreicht.
 [0100] Das kalte Arbeitsmittel 51 und das kalte Wärmemedium 55 (inkl. Gewichtsmedium 60) sind jetzt abgekühlt und unter niedrigem Druck, die zuvor aufgenommene thermische Energie ist in potentielle Energie umgewandelt.
 [0101] Je nach Bauform des Gesamtsystems 11-20 fließen das Arbeitsmittel 51 und das Wärmemedium 55 (Inklusive Gewichtsmedium 60) auf verschiedenen Wegen unter Aufbau von statischem Druck zum unteren Niveau des Gesamt-
 30 systems zurück.
 [0102] In den Gesamtsystemen 12 und 17 erfolgt zuvor in einer Mischkammer 33 eine vollständige, in den Gesamtsystemen 16 und 19 eine teilweise Mischung von Arbeitsmittel und Wärmemedium zu einem Arbeitsgemisch.

Thermodynamischer Punkt 7

- 35 [0103] Zur Umwandlung der potentiellen Energie - in Form von hydrostatischem Druck vorliegend - in technisch nutzbare Energie fließen das Wärmemedium 55, das Arbeitsmittel 51 bzw. das Arbeitsgemisch 58 einem zweiten Energiewandler 34 zu. Hier erzeugen die Flüssigkeitssäulen einen hohen Druck (p-V Diagramm Punkte 7, 7_{wm} , 7_{gm} , 7_{ag}). Dieser Druck wird im zweiten Energiewandler 34 teilweise in mechanische Bewegung umgesetzt, die nachfolgend z.B.
 40 in einem Generator in elektrische Energie umgesetzt, aber auch als mechanische Energie zum Antrieb von Maschinen verwendet werden kann.
 [0104] In den Gesamtsystemen 11, 15 und 16 (Fig.5, 11, 12) ist aufgrund der unterschiedlichen Dichte der beiden Flüssigkeiten der jeweils entstehende Druck unterschiedlich hoch. Dies erfordert einen zweiteiligen zweiten Energiewandler 34.
 45 [0105] In den Gesamtsystemen 12-14 (Fig. 7-9) und 17-20 (Fig.13-16) ist nur ein einteiliger zweiter Energiewandler 34 erforderlich.
 [0106] Eine Besonderheit stellen die Gesamtsysteme 13, 18 und 19 dar.
 [0107] Diese Systeme kennzeichnet eine reduzierte Bauhöhe zwischen Dampfverflüssigungseinrichtung 32 und Wärmetauscher 31, die dazu führt, dass der entstehende Flüssigkeitsdruck des Arbeitsmittels 51 bzw. des Arbeitsgemisches
 50 58 auf dem unteren Niveau der Gesamtsystem dem am Punkt 2 erforderlichen Arbeitsdruck entspricht. Diese Bauform senkt den technischen Aufwand und Kosten. Die bisher zur Energiegewinnung genutzte Druckdifferenz zwischen dem - nicht mehr gegebenen - Punkt 7 und 2 verschwindet damit. Der - scheinbare - Verlust an potentieller Energie wird kompensiert durch das erforderliche größere Volumen des Gewichtsmediums zum Aufbau des Arbeitsdruckes pA im ersten Energiewandler 25 bzw. 26. D.h. die Summe der technisch nutzbaren Energiemenge bleibt - bei gleichen Ein-
 55 gangsbedingungen - gleich.

Thermodynamischer Punkt 2

[0108] Nach Austritt aus dem zweiten Energiewandler 34 steht das kalte Arbeitsmittel 51, das kalte Wärmemedium 55 (inkl. kaltem Gewichtsmedium 60) bzw. das kalte Arbeitsgemisch 58 unter einem gleich hohen, verbleibenden Restdruck (Punkt 2 des E-TLC2-Prozesses).

[0109] Dieser Restdruck ist so hoch, dass das Arbeitsmittel 51 bei der nachfolgend Aufnahme von thermischer Energie im Wärmetauscher 31 nicht zu verdampfen beginnt.

[0110] Eine Ausnahme stellen die Gesamtsysteme 14 und 20 dar. Hier wurde die Höhe des Gesamtsystems soweit reduziert, dass der notwendige Arbeitsdruck am Punkt 2 nicht erreicht wird. Es wird daher eine zusätzliche Druckerhöhungspumpe 35 benötigt, um den erforderlichen Arbeitsdruck zu erreichen. Diese Lösung kann aus verschiedenen Gründen sinnvoll sein, verschlechtert aber den technischen Gesamtwirkungsgrad.

[0111] Damit ist für alle Gesamtsysteme 11-20 der Ausgangspunkt des E-TLC2-Prozesses erreicht und der Kreislauf geschlossen.

Vergleich der Gesamtsystems 11 und 15

[0112] Beim Vergleich der p-V-Diagramme des Gesamtsystems 11 (Fig. 5) mit dem ersten Energiewandler 25 und dem Gesamtsystem 15 (Fig. 11) mit dem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 ist erkennbar, dass bei Gesamtsystem 15 der größere Teil der technisch nutzbaren Energie aus dem größeren Volumen des Wärmemediums 55 bzw. Gewichtsmediums 60 bei deutlich verringerter Druckdifferenz zwischen den Punkten 7 und 2 gewonnen wird. Das entspringt dem Volumen des eingesetzten Gewichtsmediums 60 und der dadurch reduzierten Bauhöhe des ersten Energiewandlers 26, die sich als Druckdifferenz zwischen den Punkten 2 und 7 des p-V-Diagramms darstellt.

[0113] Bei gleicher Menge an zugeführter thermischer Energie wird in den Gesamtsysteme 11 und 15 jedoch immer die gleiche Menge an technisch nutzbarer Energie erzeugt.

Leistungssteigerung

[0114] Zur Steigerung der Leistung der Gesamtsysteme 11 bis 20 können mehrere erste Energiewandler 25 (siehe exemplarisch Fig. 17) bzw. weiterentwickelte erste Energiewandler 26 parallel genutzt werden. Dabei kann die Anzahl der Energiewandler 25,26 beliebig erhöht werden.

[0115] Eine entsprechende Anpassung der Leistungsfähigkeit der gemeinsam genutzten Komponenten Wärmetauscher 31, Dampfverflüssiger 32, Mischkammer 33 sowie zweitem Energiewandler 34 wird dabei vorausgesetzt.

[0116] Durch Abschaltung einzelner erster Energiewandler 25 bzw. 26 über einen Stop der Zuführung von Arbeitsmittel, Wärmemedium bzw. Arbeitsgemisch ist eine einfache Anpassung der Leistung der ersten Energiewandler 25 bzw. 26 an die Menge der verfügbaren thermischen Energie möglich. Eine zusätzliche Verwendung mehrerer, einzeln abschaltbarer Energiewandler 34 ist vorteilhaft.

Nutzbarer Temperaturbereich

[0117] Die Arbeitsweise der Gesamtsysteme 11 bis 20 basiert nur auf dem Druckunterschied zwischen dem Dampfdruck bei maximaler Arbeitstemperatur und dem Dampfdruck bei Dampfverflüssigungstemperatur.

[0118] Die Gesamtsysteme 11-14 sind hierbei besonders vorteilhaft für geringe Temperaturdifferenzen, die Gesamtsysteme 15-20 für höhere Temperaturdifferenzen.

[0119] Insbesondere dadurch, dass das weiterentwickelte Gesamtsystem 15 durch entsprechende Steuerung des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 wie ein Gesamtsystem 11 betrieben werden kann, wird der Einsatzbereich des Gesamtsystems 15 wesentlich erweitert.

Weiternutzung der Kondensationswärme

[0120] Durch den breiten nutzbaren und variablen Temperaturbereich ist bei einer entsprechenden Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle auch eine Weiternutzung der Kondensationswärme möglich.

[0121] So kann z.B. bei einer maximalen Arbeitstemperatur von 150°C und einer Kondensationstemperatur von 70°C die Kondensationswärme Heizungswasser erwärmen.

[0122] Die erzeugte Energiemenge des Gesamtsystems sinkt entsprechend. Der exergetische Wirkungsgrad des Gesamtsystems verändert sich entsprechend dem Grad der Nutzung der Kondensationswärme.

Beschreibung des mE-TLC2-Verfahrens und der Gesamtsysteme 211, 212, 216 und 219 zur Nutzung des mE-TLC2-Verfahrens als spezielle Ausführungen der Gesamtsysteme 11, 12, 16 und 19

[0123] In Abhängigkeit von der Art der Niedertemperaturwärmequelle und dem Ort der Bereitstellung der Niedertemperaturwärme sind weitere spezielle Ausführungen der Gesamtsysteme 11 bis 20 möglich. In Fig. 19 bis 22 sind bevorzugte Anordnungen zur Nutzung von Niedertemperaturwärme aus solarthermischer Erwärmung, aber auch aus Rauchgasen oder Kühlmitteldämpfen dargestellt.

[0124] Die Gesamtsysteme sind modifizierte Weiterentwicklungen der bereits vorher erläuterten Gesamtsysteme 11, 12, 16 und 19.

[0125] Gemeinsames Merkmal der modifizierten Gesamtsysteme 211, 212, 216 und 219 ist, dass der Wärmetauscher 31 zum Einbringen der Niedertemperaturwärme zwischen dem unteren und dem oberen Niveau des Gesamtsystems angeordnet ist und sich teilweise oder ganz über die Fallhöhe H erstreckt.

[0126] Im Gesamtsystem 211 und 212 durchlaufen das zu erwärmende Arbeitsmittel 51, Wärmemedium 55 bzw. Arbeitsgemisch 58 unter gleichzeitigem Druckaufbau den vertikal angeordneten Wärmetauscher 31 und werden als bereits erwärmte Flüssigkeiten dem zweiten Energiewandler 34 zugeführt.

[0127] Nach Austritt des warmen Arbeitsmittels bzw. Arbeitsgemisches aus dem zweiten Energiewandler 34 kommt es zu keiner Verdampfung aufgrund des verbleibenden hohen Dosierdrucks pD. Anschließend wird das erwärmte Arbeitsmittel, Wärmemedium bzw. Arbeitsgemisch direkt dem ersten Energiewandler 25 zugeführt.

[0128] Im Gesamtsystem 216 und 219 durchläuft nur das Arbeitsgemisch 58 den Wärmetauscher 31. Das Gewichtsmedium 60 läuft ohne Erwärmung direkt zum zweiten Energiewandler 34.

[0129] In Gesamtsystem 216 läuft das Arbeitsgemisch weiter zum zweiten Energiewandler 34 zur Umwandlung von potentieller Energie in technisch nutzbare Energie. Nach Austritt des Arbeitsgemisches aus dem zweiten Energiewandler 34 kommt es zu keiner Verdampfung des Arbeitsmittels aufgrund des verbleibenden hohen Dosierdrucks pD.

[0130] In Gesamtsystem 219 mit reduzierter Höhe wird das erwärmte Arbeitsgemisch unter Aufbau des Dosierdruckes pD direkt dem ersten Energiewandler 26 zugeführt.

[0131] In Fig.18 ist der auf dem in Fig.3 dargestellten E-TLC-Prozess basierende und in den Gesamtsystemen 211, 212, 216 und 219 genutzte **modifizierte zweistufige Extended-Tri-Lateral-Cycle-Prozess** (nachfolgend als **mE-TLC2** bezeichnet) dargestellt.

[0132] Die Umsetzung der thermischen Energie in technisch nutzbare Energie erfolgt im mE-TLC2-Prozess in den Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Polytrope Umwandlung (Fig.3: Pkt. 4' und 4") der thermischen Energie des erwärmten Arbeitsmittels und des erwärmten Wärmemediums in einem ersten Energiewandler 25 oder 26 in potentielle Energie
- **Schritt b:** Isobares Kondensieren (Fig.3: Pkt.5 - Pkt.1) des vollständig verdampften Arbeitsmittels
- **Schritt c:** Isochores Erwärmen (Fig.3: Pkt.1 - Pkt.7) des flüssigen Arbeitsmittels und des flüssigen Wärmemediums bzw. des Arbeitsgemisches aus einer Niedertemperaturwärmequelle bei gleichzeitigem Aufbau von statischem Druck über die Fallhöhe H ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt d:** Isotherme Umwandlung (Fig.3: Pkt.7 - Pkt.3) eines Teils des statischen Druckes im zweiten Energiewandler 34 in technisch nutzbare mechanische Energie

[0133] Der Punkt 2 des ursprünglichen E-TLC2-Prozesses nach Fig. 4 entfällt und Punkt 7 erhält eine geänderte Position im neuen mE-TLC2-Prozess (siehe Fig.18).

[0134] Der thermodynamische Ablauf des mE-TLC2-Prozesses stellt sich im Vergleich zum E-TLC2-Prozess nach Fig.4 im p-V-Diagramm optisch ähnlich dar, es gibt wenige Änderungen im Kurvenverlauf. 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 thermodynamischen Verlauf darstellt.

[0135] Im Vergleich zum E-TLC2-Prozess ist die in technisch nutzbare Arbeit umgesetzte thermische Energie des mE-TLC2-Prozesses bei gleichen Eingangsparametern (Menge der aufgenommenen thermischen Energie) gleich groß.

[0136] Wesentliches Unterscheidungsmerkmal des mE-TLC2-Prozesses ist die geänderte Position des Wärmetauschers im Gesamtsystem und damit die geänderten Einsatzanforderungen an den Wärmetauscher 31 und den zweiten Energiewandler 34.

Detaillierte Beschreibung der Funktion des ersten Energiewandler 25 bzw. des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie

[0137] Die nachfolgende Beschreibung stellt die Arbeitsweise des ersten Energiewandlers 25 (Fig.23 und 24) und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 (Fig.25 und 26) gemeinsam dar. Auf Unterschiede wird im Text eingegangen. Die Beschreibung folgt dabei dem Verlauf des E-TLC- bzw. E-TLC2-Prozesses nach Fig.3 und 4 zwischen

den Punkten 3 und 5.

[0138] Der erfindungsgemäße erste Energiewandler 25 (Fig.23, 24) zur Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie besteht zumindest aus den Bestandteilen:

- 5 • Einem geschlossenen, aufwärts gerichteten Rohrsystem mit einem Aufstiegsrohr 130 und einem Abstiegsrohr 160 verbunden durch einen unteren Rohrbogen 110 und einen oberen Rohrbogen 140
- Einer großen Anzahl von, in dem Rohrsystem frei umlaufenden, nicht kippenden Kolben 170
- Einbringöffnungen und einer Einbringvorrichtung 121 im unteren Bereich des Rohrsystems zum Einbringen von Wärmemedium 56 und Arbeitsmittel 52 (Fig. 23) bzw. Arbeitsgemisch 59 (Fig.24)
- 10 • Auslassöffnungen und einer Separierungsvorrichtung 150 auf dem oberen Niveau des Rohrsystems zum Auslassen des abgekühlten, flüssigen Wärmemediums 55 und des verdampften Arbeitsmittels 54

[0139] Der weiterentwickelte erste Energiewandler 26 (Fig.25 und 26) besteht zumindest aus den gleichen Bauteilen wie der Energiewandler 25 sowie abweichend:

- 15 • einer erweiterten Einbringvorrichtung 122 auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum zusätzlichen Einbringen eines Gewichtsmedium 60

[0140] Nicht in den Abbildungen dargestellt werden verschiedene Hilfs- und Zusatzsysteme, da ihre Position und Funktion vielfältig gelöst werden kann.

[0141] Hilfs- und Zusatzsysteme können z.B. sein:

- Startvorrichtung zur initialen Inbetriebsetzung des Prozesses
- Serviceeinrichtungen zum Befüllen der Energiewandler mit Kolben und Arbeitsmittel, Austausch defekter Kolben oder Reinigung des Arbeitsmittels (z.B. von Abrieb)
- 25 • Austreiber zur vollständigen Trennung von Arbeitsmittel und Wärmemedium
- Meßsensoren sowie Prozess-Steuerungs- und Regeltechnik
- Wärmespeicher

30 Schritt 1 - Einbringen der Medien

[0142] Startpunkt der Wandlung von thermischer Energie in potentielle Energie ist im unteren Bereich des Rohrsystems - beispielhaft dargestellt im unteren Rohrbogen 110.

[0143] Aus dem Abstiegsrohr 160 werden Kolben 170, die unter dem Druck p_K (erzeugt durch das Gewicht des nachfolgenden Kolbenstapels 171) stehen, in die Einbringvorrichtungen 121 (Fig.23, 24) bzw. 122 (Fig.25, 26) geschoben. Der Druck p_K ist hierbei größer als der, von den im Aufstiegsrohr 130 befindlichen Bereichen erzeugte maximale Arbeitsdruck p_A .

[0144] Der Einbringvorrichtung 121 bzw. 122 wird von außen das unter einem Dosierdruck p_D - der ebenfalls größer ist als der maximale Arbeitsdruck p_A - stehende erwärmte Arbeitsmittel 52, das erwärmte Wärmemedium 56 bzw. das erwärmte Arbeitsgemisch 59 zugeführt.

[0145] In der Einbringvorrichtung 121 bzw. 122 wird das erwärmte Arbeitsmittel 52 und das erwärmte Wärmemedium 56 (Fig.23, 25) bzw. das erwärmte Arbeitsgemisch 59 (Fig.24, 26) zwischen zwei Kolben 170 eingebracht. Dieser Bereich damit wird zu einem Arbeitsbereich.

[0146] Bei den Gesamtsystemen nach Fig.23 und 25 mit separater Einbringung des erwärmten Arbeitsmittels 52 und des erwärmten Wärmemediums 56 kommt es nach dem Einbringen zu einer Durchmischung der beiden Medien unter interner Bildung eines Arbeitsgemisches 59.

[0147] Zusätzlich wird in der Einbringvorrichtung 122 (Fig.25, 26) des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 nicht erwärmtes Gewichtsmedium zwischen zwei Arbeitsbereiche eingebracht werden. Ein mit Gewichtsmedium 60 gefüllter Bereich wird damit zu einem Gewichtsgebiet GB.

[0148] Die Menge der zugeführten Medien und der Zeitpunkt der Einbringung werden durch Dosiervorrichtungen 126 gesteuert. Zum sicheren Einbringen des Arbeitsmittels bzw. des Gewichtsmediums können in den Einbringvorrichtungen 121 und 122 einzelne Kolben 170 von einer Kolbenstopvorrichtung 125 kurzzeitig angehalten werden. Nach Freigabe der gestoppten Kolben 170 werden die eingebrachten Bereiche durch den Kolbendruck p_K der nachfolgenden Kolben bzw. der nächsten eingebrachten Bereiche in das Aufstiegsrohr 130 geschoben.

[0149] Die Kolben 170 schaffen dabei für das erwärmte Arbeitsmittel bzw. das Gewichtsmedium eine räumliche und thermisch isolierte Abgrenzung zu den vorhergehenden bzw. nachfolgenden Bereichen.

[0150] Die gezielte Steuerung der Einbringung erlaubt es, dass der weiterentwickelte erste Energiewandler 26 auch in einer Betriebsart ohne Gewichtsmedium betrieben werden kann und damit der nutzbare Temperaturbereich hin zu

niedrigeren Temperaturdifferenzen ausgedehnt wird.

[0151] Grundsätzlich ist es nicht notwendig, für den weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 (Fig. 24, 25) 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. Aus technischer Sicht kann es aber sinnvoll sein, die Kolben unterschiedlich zu gestalten und damit die Kolben explizit zu Arbeits- bzw. Gewichtsbereich zuzuweisen.

[0152] Mögliche Gründe sind z.B.:

- Leichteres und sichereres Einbringen der Medien
- Bessere Steuerungsmöglichkeiten des Energiewandlers
- Messtechnische Aufgaben

Schritt 2 - Umwandlung der thermischen Energie in potentielle Energie

[0153] Nach Eintritt der Arbeitsbereiche AB bzw. Gewichtsbereiche GB (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 26) in das Aufstiegsrohr 130 beginnt, wie im Zusammenhang mit Fig. 6 und 10 erläutert, eine langsame Verringerung des auf dem oberen Kolben lastenden Arbeitsdruckes pA. Die erfindungsgemäß bevorzugte Ausführung des Aufstiegsrohres 130 ist dabei senkrecht ohne Richtungsänderung. Das allgemeine Grundprinzip des Druckaufbaus erlaubt aber auch eine schräge, schraubenförmige oder andere aufwärts gerichtete Gestaltung des Aufstiegsrohres 130.

[0154] Nach Unterschreiten eines, von der Temperatur und der Dampfdruckkurve des verwendeten Arbeitsmittels abhängigen Arbeitsdruckes pA beginnt das im Arbeitsgemisch 59 enthaltene warme Arbeitsmittel 52 in einer Entspannungsverdampfung zu verdampfen, so dass warmer Arbeitsmitteldampf 53 entsteht. Dadurch kommt es zu einer Volumenvergrößerung des Arbeitsbereiches bei gleichzeitiger Abkühlung des verbliebenen Arbeitsgemisches. Durch diese Volumenvergrößerung werden im Aufstiegsrohr alle oberhalb dieses Arbeitsbereiches befindlichen, Arbeits- bzw. Gewichtsbereiche (letzteres nur im weiterentwickelten Energiewandler 26) angehoben. Bei einer hinreichend großen Volumenvergrößerung führt dies zu einem Austritt von kaltem Arbeitsmitteldampf 54, kaltem Wärmemedium 55 und im weiterentwickelten Energiewandler 26 auch Gewichtsmittel 60 im oberen Bereich des Rohrsystems - beispielhaft dargestellt im oberen Rohrbogen 140 - in die Separationsvorrichtung 150.

[0155] Durch den Austritt der Medien in die Separationsvorrichtung 150 verringert sich der verbleibende Arbeitsdruck pA, der auf den im Aufstiegsrohr 130 verbliebenen Arbeits- und Gewichtsbereichen (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 26) lastet. Das führt in den noch im Aufstiegsrohr 130 befindlichen Arbeitsbereichen AB zu einer weiteren Entspannungsverdampfung des Arbeitsgemisches 59, einem Ausdehnen des bereits vorhandenen noch warmen, unter Druck stehenden Arbeitsmitteldampfes 53, einer damit verbundenen Volumenvergrößerung der Arbeitsbereiche und dem Anheben aller oberhalb eines einzelnen Arbeitsbereiches befindlichen Bereiche.

[0156] Der beschriebene Ablauf von

- Austritt von Medien im oberen Bereich des Rohrsystems
- eine dadurch initiierten Druckverringerung im Aufstiegsrohr 130
- einer nachfolgenden Entspannungsverdampfung von Arbeitsmittel aus dem Arbeitsgemisch
- Anheben der Bereiche im Aufstiegsrohr 130

wiederholt sich stetig durch Zuführung neuer Bereiche in den Einbringvorrichtungen 121 bzw. 122. Dadurch unterliegt das warme Arbeitsgemisch 59 während des Aufstiegs im Aufstiegsrohr 130 einer kontinuierlichen Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels bei gleichzeitiger Abkühlung des Arbeitsgemisches 59 und des bereits entstandenen Arbeitsmitteldampf 53.

[0157] Am Ende des Aufstiegs ist das Arbeitsmittel 52 aus dem Arbeitsgemisch 59 vollständig heraus verdampft und nur noch das Wärmemedium 55 flüssig verblieben. Das Wärmemedium ist bis auf Kondensationstemperatur abgekühlt, der entstandene Arbeitsmitteldampf 54 ist unter Volumenvergrößerung und Abkühlung bis auf Kondensationsdruck entspannt.

[0158] Durch das Prinzip der frei beweglichen Kolben 170 gibt es keine mechanisch vorgegebene p-V-Kennlinie des ersten (25) und des weiterentwickelten ersten Energiewandlers (26). Das bedeutet, die p-V-Kennlinie der ersten Energiewandler ist variabel und passt sich aufgrund des sich selbst regulierenden Arbeitsdruckes pA jedes einzelnen Arbeitsbereiches und der dadurch erzwungenen Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels selbsttätig der p-V-Verdampfungskennlinie des verwendeten Arbeitsmittels im genutzten Temperaturbereich an.

[0159] Vergleichbares ist mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht möglich.

[0160] Gleichfalls ist damit

- eine stufenlose Volumenvergrößerung von mehr als 1:100 - bezogen auf das Ausgangsvolumen des flüssigen warmen Arbeitsmittels 52 zum Endvolumen des vollständig verdampften kalten Arbeitsmittels 54 - sowie
- eine stufenlose Druckentspannung von weit mehr als 1:10 - bezogen auf den maximalen Arbeitsdruck pA auf dem unteren Niveau des ersten Energiewandlers zum minimalem Arbeitsdruck (Kondensationsdruck) auf dem oberen Niveau des ersten Energiewandlers - möglich

Schritt 3 - Trennung und Ausbringung der Medien

[0161] Nach dem Austritt des Arbeitsmitteldampfes 54, des abgekühlten, flüssig verbliebenen Wärmemediums 55 bzw. Gewichtsmedium 60 (letzteres nur im weiterentwickelten ersten Energiewandler 26) auf dem oberen Niveau - exemplarisch dargestellt dem oberen Rohrbogen 140 - aus dem Rohrsystem werden die Medien in der Separationsvorrichtung 150 getrennt.

[0162] Das flüssig verbliebene Wärmemedium 55 wird aufgefangen und gesammelt. Im weiterentwickelten Energiewandler 26 wird das flüssig verbliebene Wärmemedium 55 gemeinsam mit dem Gewichtsmedium 60 aufgefangen. Das gesammelte kalte Wärmemedium 55 - im weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 auch das Gewichtsmedium - verlässt über Zuführungen 40 den ersten Energiewandler 25 bzw. 26 und fließt je nach Bauform des Gesamtsystems der Mischkammer 33, dem zweiten Energiewandler 34 oder - bei Gesamtsystemen mit Nutzung des mE-TLC-Prozesses - dem Wärmetauscher 31 zu.

[0163] Der Arbeitsmitteldampf 54 wird durch Zuführungen 40 der Dampfverflüssigungsvorrichtung 32 zugeführt. Evtl. vom Arbeitsmitteldampf 54 mitgerissene Tröpfchen des Wärmemediums werden in der Separationsvorrichtung 150 abgeschieden und dem gesammelten Wärmemedium zugeführt.

Schritt 4 - Rückführung der Kolben

[0164] Die nach Austritt der Medien im oberen Rohrbogen 140 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.

[0165] Die Kolben 170 werden als Kolbenstapel 171 zusammengeführt und erzeugen durch ihr Eigengewicht den in den Einbringvorrichtungen 121 und 122 benötigten Kolbendruck pK.

Weiterführende Betrachtungen

[0166] Der erfindungsgemäße Aufbau der ersten Energiewandler 25 und 26 als geschlossenes Rohrsystem mit frei laufenden 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.

[0167] Die durch das Prinzip einzelner kleiner Arbeitsbereiche realisierbare stufenlose und variable Entspannungsverdampfung eines Arbeitsmittels ist nur mit einer sehr fein gestuften Turbine vergleichbar.

[0168] 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.4 ff., Punkt 3-5 des T-S-Diagramms).

[0169] 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 und des Wärmemediums wegen der größeren Anzahl an Arbeitsbereichen bis zu einigen Minuten), was mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht erreichbar ist.

[0170] 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.

[0171] Als weiterer Vorteil kann die Entspannungsverdampfungskurve des E-TLC bzw. E-TLC2 Prozesses im T-S-Diagramm nach Fig.34 und Fig. 4 vom Punkt 3 bis Punkt 5 sicher und vollständig durchlaufen und die zuvor aufgenommene thermische Energie vollständig umgesetzt werden.

[0172] In Fig.27 sind ergänzend dazu verschiedene Szenarien als T-S-Diagramm des Arbeitsmittels im E-TLC-Prozess dargestellt.

Fig. 27a - Verlauf unter Basis-Betriebsbedingungen (siehe gestrichelte Linien) definiert durch die Temperatur der Wärmequelle und der Dampfverflüssigungstemperatur

Fig. 27b - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen (siehe gestrichelte Linien) erhöhter Temperatur der Wärmequelle

(Bsp.: Nutzung 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. 27c - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen (siehe gestrichelte Linien) 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.
10 Die Entspannungskurve von Punkt 3 zu Punkt 5 ist verkürzt.
Es wird weniger Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.

15 Fig. 27d - Verlauf mit gegenüber den Basis-Betriebsbedingungen (siehe gestrichelte Linien) erhöhter Temperatur der Wärmequelle und erhöhter Dampfverflüssigungstemperatur

(Bsp.: Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle und Kühlung durch Umgebungsluft im Sommer)
Je nach Temperaturdifferenz zwischen Punkt 2 und 3 kann mehr oder auch weniger thermische Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt werden.

20 **[0173]** 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.

[0174] 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
25 gewährleistet.

[0175] Innerhalb eines Arbeitsbereiches kommt es durch den Kontakt der Medien mit der Rohrwand und dem Abstreifen der Medien durch den Kolben von der Rohrwand zu Verwirbelungen und einer intensiven Durchmischung der Medien. Das fördert die Wärmeverteilung und damit die Verdampfung des Arbeitsmittels. Durch eine geeignete Gestaltung des Kolbens und der Kolbendichtung kann diese Verwirbelung gefördert werden.

30 **[0176]** Die Kolben weisen zudem vorzugsweise eine aufgeraute, poröse Oberfläche auf, die eine Blasenbildung beim Verdampfen des Arbeitsmittels fördert (vergleichbar der Wirkung von Siedesteinchen).

[0177] Da aufgrund der erfindungsgemäßen Konstruktion der ersten Energiewandler an den Kolben nur sehr geringe Druckunterschiede von weniger als 0,001 MPa (0,01bar) auftreten (Druckunterschied = Kolbengewicht/Fläche), liegt die Hauptaufgabe der Kolbendichtung in einer Stützfunktion, um ein Kippen der Kolben im Rohrsystem zu verhindern.
35 Dies ist durch ein geeignetes Kolbendesign möglich. Entsprechende Kolbendesigns sind in der Fachwelt bekannt.

[0178] 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.

40 **[0179]** Eine Ausführung des unteren und oberen Abschnittes des umlaufenden Rohrsystems als horizontale Zone mit konstantem Druck (Beispiele siehe Fig. 27) in Kombination mit einem nicht kreisförmigen Rohrquerschnitt erleichtert zudem die technische Gestaltung der Einbringvorrichtungen 120 und 121 bzw. der Separierungsvorrichtung 150.

Prozessbeispiele

45 **[0180]** Wie in Tabelle 1 exemplarisch aufgeführt, sind mit dem Gesamtsystem 11 oder 15 (Fig.5, 11) bereits geringe Temperaturunterschiede von 10°K nutzbar.

[0181] 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 25 bzw. 26 wird in eine - durch den zweiten Energiewandler 34 technisch gut nutzbare - Druckdifferenz
50 von mindestens 0,25 MPa (2,5bar) für das Arbeitsmedium bzw. mindestens 0,4 MPa (4,0 bar) für das Wärmemedium umgesetzt. Vergleichbares ist mit Vorrichtungen nach dem Stand der Technik nicht realisierbar.

[0182] Bei derart geringen Temperaturunterschieden sollte bevorzugt das Gesamtsystem 17 nach Fig. 13 mit einem kalten Arbeitsgemisch 58 als Gewichtsmedium 60 zur Anwendung kommen. Dieses weist gegenüber Gesamtsystem 15 eine nochmals reduzierte Bauhöhe auf und benötigt nur einen einteiligen zweiten Energiewandler 34 bzw. einteiligen
55 Wärmetauscher 31.

[0183] Der erfindungsgemäße Einsatz des weiterentwickelten Energiewandlers 26 nach Fig.25 bzw. 26 mit zusätzlichen Gewichtsbereichen senkt bei höheren Eingangstemperaturen die technisch notwendige Höhe zum Aufbau des maximalen Arbeitsdruckes pA zwischen dem unteren und dem oberen Niveau deutlich, wie bereits in der Erläuterung

zu Fig. 10 bis 12 dargelegt.

[0184] In Tabelle 2 ist exemplarisch ein Vergleich der Gesamtsysteme 11 (ohne Gewichtsmedium) und 15 (mit Gewichtsmedium) bei ansonsten gleichen Eingangsparametern dargestellt. Der Einsatz des weiterentwickelten ersten Energiewandlers 26 mit Gewichtsmedium bringt eine Reduzierung der Bauhöhe des Gesamtsystems um ca. 85%.

[0185] Wie aus den Werten für Gesamtsystem 15 zu ersehen ist, wird bei Nutzung eines Gewichtsmediums der minimal erforderliche Differenzdruck (siehe Fig. 11 p-V-Diagramm: Differenz zwischen Punkt 7 und 2) des Arbeitsmittels für den zweiten Energiewandlers 34 zum limitierenden Faktor für die Bauhöhe des ersten Energiewandlers (im Beispiel 0,25MPa).

[0186] Ein Einsatz eines Gesamtsystems 17 (Fig. 13) mit Arbeitsgemisch senkt die Bauhöhe des Gesamtsystems nochmals deutlich um ca. 20%.

[0187] In Tabelle 3 sind beispielhaft die Arbeitsparameter eines Gesamtsystems 18 mit einem weiterentwickelten ersten Energiewandler 26 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).

[0188] Deutlich ablesbar sind die sich verändernden Betriebsparameter in Abhängigkeit von der Änderung der maximalen Arbeitstemperatur und der Kondensationstemperatur.

[0189] In der letzten Spalte ist beispielhaft der Einfluss der Kondensationstemperatur auf die erzielbare Leistung dargestellt. Je niedriger die Kondensationstemperatur, desto höher der theoretische Wirkungsgrad und damit die erzielbare Leistung.

[0190] Bei einer angenommenen Anzahl von einem neu zugeführten Arbeitsbereich je Sekunde entspricht die Zahl der gesamten Arbeitsbereiche im Aufstiegsrohr der Anzahl an Sekunden, die ein Arbeitsbereich zum Durchlauf vom unteren zum oberen Niveau des Gesamtsystems benötigt.

[0191] Ebenfalls aufgeführt die Anzahl der Arbeitsbereiche, in denen das Arbeitsmittel die Entspannungsverdampfungskurve vom thermodynamischen Punkt 3 zum Punkt 5 des E-TLC2-Prozesses durchläuft. Deutlich sichtbar ist auch hier der Einfluss der Kondensationstemperatur.

Tabelle 1:

Beispielwerte für die Umsetzung des E-TLC-Prozesses mit Vorrichtung 11, 12 und 17 bei einer Temperaturdifferenz von 10° zwischen Eingangs- und Kondensationstemperatur				
Eingangs-Parameter	Einheit	Vorrichtung 11	Vorrichtung 15	Vorrichtung 17
Max. Arbeitstemperatur	°C	40		
Kondensationstemperatur	°C	30		
Mittl. Wirkungsgrad nach Carnot	%	1,62		
Rohrdurchmesser	m	0,1		
Arbeitsmittel / Dichte	- / kg/m ²	N - Pentan / 605,76		
Max. Arbeitsdruck	MPa	0,115		
Kondensationsdruck	MPa	0,082		
Menge Arbeitsmittel	kg	0,10		
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m	0,021		
Wärmemedium / Dichte	- / kg/m ²	Wasser / 998		
Menge Wärmemedium	kg	0,82		
Menge Gewichtsmedium	kg	0	0,6	1,6
Ergebnis-Parameter				
Höhe Arbeitsmitteldampf	m	5,23		
Entspannungsverhältnis AM		1:249		
Notwendige Rohrhöhe	m	74	48	32
Anzahl Arbeitsbereiche	-	30	19	13

EP 4 306 775 A1

(fortgesetzt)

Ergebnis-Parameter				
Nutzbare Differenzdruck zwischen Punkt 7 und 2 des p-V-Diagramms				
Arbeitsmittel	MPa	0,41	0,253	---
Wärme- / Gewichtsmedium	MPa	0,687	0,433	---
Arbeitsgemisch	MPa	---	---	0,26
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs	-0,6		
Flächenleistung	kW/m²	-75		

Tabelle 2:

Beispielwerte für die Reduzierung der Bauhöhe des Gesamtsystems durch Nutzung von Gewichts-medium bei einer Eingangstemperatur von 100°C und einer Kondensationstemperatur von 40°C				
Eingangs-Parameter	Einheit	Gesamtsystem 11	Gesamtsystem 15	Gesamtsystem 17
Bauform erster Energiewandler	-	25	26	
Max. Arbeitstemperatur	°C	100		
Kondensationstemperatur	°C	40		
Mittlerer Wirkungsgrad nach Carnot	%	8,74		
Rohrdurchmesser	m	0,1		
Arbeitsmittel / Dichte	- / kg/m²	n - Pentan / 605,76		
Max. Arbeitsdruck	MPa	0,59		
Kondensationsdruck	MPa	0,115		
Menge Arbeitsmittel	kg	0,1		
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m	0,024		
Wärmemedium / Dichte	- / kg/m²	Wasser / 998		
Menge Wärmemedium	kg	0,081		
Gewichtsmedium / Dichte	- / kg/m²	Wasser / 998		
Menge Gewichtsmedium	kg	0	4,5	9
Ergebnis-Parameter				
Höhe Arbeitsmitteldampf	m	3,8		
Entspannungsverhältnis	-	1:158		
Notwendige Rohrhöhe	m	880	124	100
Anzahl Arbeitsbereiche	-	915	79	40
Differenzdruck Arbeitsmittel zw. Punkt 7 und 2	MPa	4,7	0,25	---
Differenzdruck Wärme- / Gewichts-medium zw. Punkt 7 und 2	MPa	8,1	0,72	---
Differenzdruck Arbeitsgemisch zw. Punkt 7 und 2		---	---	0,26

EP 4 306 775 A1

(fortgesetzt)

Ergebnis-Parameter		
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs	-3,1
Flächenleistung bei einem Arbeitsbereich / sec	kW/m ²	395

Tabelle 3

Beispiel Spreizung Arbeitsparameter bei solarthermischer Erwärmung und Kühlung durch Umgebungsluft						
Eingangs-Parameter	Einheit	Gesamtsystem 18				
Betriebsart erster Energiewandler	-	Energiewandler 26				
Max. Arbeitstemperatur	°C	40	60	80	100	100
Kondensationstemperatur	°C	20	30	40		20
Mittlerer Wirkungsgrad nach Carnot	%	3,3	4,7	6	8,74	12,0
Rohrhöhe	m	90				
Rohrdurchmesser	m	0,1				
Arbeitsmittel / Dichte @20°C	- / kg/m²	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
Menge warmes Arbeitsmittel	kg	0,1				
Ausgangshöhe Arbeitsmittel	m	0,0210	0,0215	0,227	0,24	0,24
Wärmemedium / Dichte @20°C	- / kg/m²	Wasser / 998				
Menge Wärmemedium	kg	0,39		0,155	0,081	0,052
Höhe Wärmemedium	m	0,05		0,02	0,0106	0,0067
Gewichtsmedium / Dichte @20°C	- / kg/m²	Wasser / 998				
Menge kaltes Gewichtsmedium	kg	1,4	2,2	3,5	8,7	15,8
Höhe Gewichtsmedium	m	0,18	0,28	0,45	1,12	2,0
Ergebnis-Parameter						
Höhe Arbeitsmitteldampf	m	7,37	5,23	3,78	3,78	7,37
Entspannungsverhältnis	-	1:350	1:243	1:166	1:157	1:307
Anzahl Arbeitsbereiche gesamt / Arbeitsbereiche mit Verdampfung	-	180 / 20	126 / 36	93 / 49	43 / 41	28 / 27
Geleistete Arbeit je Arbeitsbereich	kWs	1,2	1,71	2,13	3,1	4,4
Flächenleistung bei einem Arbeitsbereich / sec	kW/m²	155	218	270	395	566

Patentansprüche

- Verfahren zur Umwandlung von thermischer Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit Temperaturen von maximal 200°C in einem Dreiecksprozess, im folgenden "Extended Trilateral Cycle" (E-TLC) genannt, in Volumenänderungsarbeit und nachfolgend technisch nutzbare Energie das die folgenden Zustände bzw. Schritte durchläuft:

- Einen ersten Prozesszustand (1) mit einem flüssigen Arbeitsgemisch (58) unter einem ersten Druck bei einer ersten Temperatur
- Einer Erhöhung des Druckes und einer Erhöhung der Temperatur des Arbeitsgemisches auf einen zweiten Druck und eine zweite Temperatur ohne Verdampfung des Arbeitsgemisches, wobei der zweite Druck und die zweite Temperatur höher sind als der erste Druck und die erste Temperatur
- Einem zweiten Prozesszustand (3) mit unter dem zweiten Druck stehenden und auf die zweite Temperatur erwärmten flüssigen Arbeitsgemisch (59)
- Einer durch externe Druckreduzierung initiierten, Entspannungsverdampfung des Arbeitsgemisches mit teilweiser Verdampfung des Arbeitsgemisches bei gleichzeitigem Verrichten von Volumenänderungsarbeit durch den entstehenden Dampf bzw. Volumenvergrößerung des bereits vorhandenen Dampfes
- Einem dritten Prozesszustand (5) mit dem wieder unter dem ersten Druck stehenden, teilweise verdampften und auf die erste Temperatur abgekühlten Arbeitsgemisch (58)
- Einer Kondensation des verdampften Anteils des Arbeitsgemisches bei der ersten Temperatur unter Abfuhr von Entropie zu einer Flüssigkeit und nachfolgender Mischung mit dem flüssig verbliebenen Anteil womit der erste Prozesszustand wieder hergestellt ist

dadurch gekennzeichnet das:

- Das Arbeitsgemisch aus einem Arbeitsmittel und einem, chemisch mit dem Arbeitsmittel nicht identischen Wärmemedium besteht, wobei das Wärmemedium bei gleichem Druck eine höhere Verdampfungstemperatur als das Arbeitsmittel aufweist
- Während der Entspannungsverdampfung nur das Arbeitsmittel verdampft und das Wärmemedium zu jedem Zeitpunkt in flüssigem Zustand verbleibt
- Das Arbeitsmittel vollständig aus dem Arbeitsgemisch verdampft und nur das Wärmemedium flüssig verbleibt
- Die Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels polytrop verläuft
- Die für die polytrope Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels zusätzlich erforderliche thermische Energie vom Wärmemedium (56) an das verdampfende Arbeitsmittel (52) übergeht und das Wärmemedium dadurch abkühlt.

2. Energiewandler (25) zur Umwandlung von thermischer Energie in potentielle Energie unter Realisierung einer polytropen Entspannungsverdampfung eines Arbeitsmittels gemäß Anspruch 1 **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)
- Einer Anzahl von mindestens 10 in dem geschlossenen Rohrsystem frei umlaufenden Kolben (170) die stirnseitig eine aufgeraute, poröse Oberfläche aufweisen, die eine Blasenbildung des Arbeitsmittels fördert
- Einbringöffnungen und einer Einbringvorrichtung (121) auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum Einbringen eines durch Kontakt mit einer Wärmequelle erwärmten Arbeitsmittels (52) und eines erwärmten Wärmemediums (56), die auch als Arbeitsgemisch (59) vorliegen können, in einen Arbeitsbereich (AB) zwischen zwei Kolben (170)
- Auslassöffnungen im Mantel des Rohres auf dem oberen Niveau zum Auslassen des vollständig verdampften Arbeitsmittels (54) und des flüssig gebliebenen abgekühlten Wärmemediums (55) aus dem Rohrsystem
- Einer Separierungsvorrichtung (150) zum Trennen des verdampften Arbeitsmittels (54) und des flüssig gebliebenen, kalten Wärmemediums (55).

3. Energiewandler (26) nach Anspruch 2 **gekennzeichnet durch** mindestens die Bestandteile:

- Zusätzliche Einbringöffnungen und einer Einbringvorrichtung (122) auf dem unteren Niveau des Rohrsystems zum Einbringen eines Gewichtsmediums (60) in einen Gewichtsgebiet (GB) zwischen zwei Arbeitsbereiche (AB), wobei das Gewichtsmedium (60) nicht durch die Wärmequelle erwärmt wurde
- Auslassöffnungen auf dem oberen Niveau zum gemeinsamen Auslassen des vollständig verdampften Arbeitsmittels (54), des flüssig verbliebenen Wärmemediums (55) sowie des Gewichtsmediums (60) aus dem Rohrsystem
- Einer Separierungsvorrichtung (150) zum Trennen des verdampften Arbeitsmittels (54) von dem flüssig gebliebenen, kalten Wärmemedium (55) sowie dem flüssigen Gewichtsmedium (60).

4. Energiewandler (26) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, das durch entsprechende Steuerung eine Be-

triebsart ohne Gewichtsmedium nach Anspruch 2 möglich ist.

5. Energiewandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2-4, **dadurch gekennzeichnet, dass:**

- zur Umwandlung der thermischen Energie des erwärmten Arbeitsmittels (52) und des warmen Wärmemediums (56) in potentielle Energie im Aufstiegsrohr (130) des Energiewandlers mindestens 10, bevorzugt mehr als 20 voneinander unabhängige, einzelne Arbeitsbereiche (AB) vorgesehen sind
- die Entspannung des Arbeitsdruckes (pA) der Arbeitsbereiche (AB) stufenlos erfolgt
- die Volumenvergrößerung der Arbeitsbereiche (AB) stufenlos erfolgt
- 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
- 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 auftreten.

6. 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 2-5, der ein Arbeitsmittel (AM) und ein Wärmemedium (WM) unter Nutzung von thermischer Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit einer Temperatur von maximal 200°C durch Realisierung des E-TLC-Prozesses nach Anspruch 1 von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau hebt und die vom Arbeitsmittel (AM) und dem Wärmemedium (WM) aufgenommene thermische Energie in potentielle Energie des Arbeitsmittels (AM) und des Wärmemediums (WM) wandelt
- einen zweiten Energiewandler (34), der unter Rückführung des Arbeitsmittels (AM) und des Wärmemediums (WM) vom oberen auf das untere Niveau die gewonnene potentielle Energie als technisch nutzbare mechanische Energie abgibt.

7. Vorrichtung (11) nach Anspruch 6, **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) und an ein unter Dosierdruck (pD) stehendes flüssiges Wärmemedium ohne Verdampfung des Arbeitsmittels bzw. des Wärmemediums
- Thermisch isolierte Zuführungen (40), um das im Wärmetauscher (31) erwärmte Arbeitsmittel (52) und das erwärmte Wärmemedium (56) einem ersten Energiewandler (25) nach einem der Ansprüche 2-9 zuzuführen
- Mindestens einen ersten Energiewandler (25) nach einem der Ansprüche 2-5 zur Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) und des Wärmemediums (56) in potentielle Energie
- Zuführungen (40), um das im ersten Energiewandler (25) vollständig verdampfte Arbeitsmittel (54) einer Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zuzuführen
- Einer Dampfverflüssigungsvorrichtung (32) zur Verflüssigung des verdampften Arbeitsmittels (54)
- Zuführungen um das flüssige, kalte Wärmemedium (55) und das kondensierte flüssige Arbeitsmittel (51) einem zweiten Energiewandler (34) zuzuführen
- Einem zweiteiligen zweiten Energiewandler (34) zur Umwandlung der potentieller Energie der des Arbeitsmittels (51) und des Wärmemediums (55) in technisch nutzbare Energie
- Zuführungen, um das noch unter Dosierdruck (pD) stehende Arbeitsmittel (51) und das unter Dosierdruck (pD) stehende Wärmemedium (55) von dem zweiten Energiewandler wieder dem Wärmetauscher (31) zuzuführen.

8. Vorrichtung (2xx) nach Anspruch 6-7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Übertragung der thermischen Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit Temperaturen von maximal 200°C an das Arbeitsmittel (51) und das Wärmemedium (55) ohne Verdampfung des Arbeitsmittels bzw. des Wärmemediums in einem vertikal angeordneten Wärmetauscher (31) bei gleichzeitigem Aufbau eines hohen statischen Druckes erfolgt

9. Vorrichtung (12-14, 16-20, 212, 216, 219) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsmittel (AM) und das Wärmemedium (WM) vor der Zuführung zum ersten Energiewandler (25, 26) in einer Mischkammer (33) in einem prozessspezifischen Verhältnis zu einem Arbeitsgemisch (AG) zusammengeführt werden.

10. Vorrichtung (15-20, 216, 219) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zum

Arbeitsmittel (52) und dem Wärmedium (56) ein Gewichtsmedium (60) vom unteren auf das obere Niveau gehoben wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gewichtsmedium (60)

- nicht erwärmtes Wärmedium oder
- nicht erwärmtes Arbeitsmittel oder
- ein Gemisch aus nicht erwärmtem Arbeitsmittel und nicht erwärmtem Wärmedium ist.

12. Vorrichtung (11-20, 211,212,216,219) nach einem der Ansprüche 6-11, **dadurch gekennzeichnet, dass**:

- mehrere der ersten Energiewandler (25,26) nach einem der Ansprüche 2 bis 5 parallel angeordnet sind, welche die anderen aufgeführten Komponenten gemeinsam nutzen
- die mehreren ersten Energiewandler (25,26) individuell zu- oder abgeschaltet werden können.

13. Vorrichtung (11-20, 211, 212, 216, 219) nach Anspruch 6-12, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ein Kontroll- und Regelungssystem aufweist, welches:

- die Anzahl der zu- oder abgeschalteten ersten Energiewandler (25,26) steuert und an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle, der Kondensationstemperatur oder der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle anpasst
- sie ein Kontroll- und Regelungssystem aufweist, welches die Menge des eingespeisten erwärmten Arbeitsmittels (52), des erwärmten Wärmediums (56) und des Gewichtsmediums (60) reguliert und an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle, der Kondensationstemperatur oder der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle anpasst.

14. Verfahren nach Anspruch 1 zur Umwandlung der thermischen Energie eines durch die thermische Energie einer Niedertemperaturwärmequelle mit einer Temperatur von maximal 200°C erwärmten Arbeitsmittels (52) und eines, durch die thermische Energie der Niedertemperaturwärmequelle auf die gleiche Temperatur erwärmten Wärmediums (56) in potentielle Energie des Arbeitsmittels und des Wärmediums umfassend die Schritte

- Das warme, flüssige Arbeitsmittel (52) und das warme, flüssige Wärmedium (56) werden in einen Energiewandler (25,26) gemäß einem der Ansprüche 2-5 eingebracht
- Das warme, flüssige Arbeitsmittel und das warme, flüssige Wärmedium werden als Arbeitsgemisch (AG) im ersten Energiewandler (25,26) in einem durch Kolben (170) räumlich abgegrenzten Arbeitsbereich (AB) geführt
- Die Arbeitsbereiche (AB) mit dem warmen Arbeitsgemisch (59) werden im ersten Energiewandler (25,26) von einem unteren Niveau auf ein oberes Niveau gehoben, wobei das Anheben des Arbeitsgemisches auf das obere Niveau durch polytrope Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) und des Wärmediums (56) in Hubarbeit durch eine vollständige Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels (52) nach dem E-TLC-Prozess nach Anspruch 1 erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- zusätzlich zu dem erwärmten Arbeitsmittel (52) und Wärmedium (56) ein nicht erwärmtes Gewichtsmedium (60) vom unteren auf das obere Niveau gehoben wird
- das Gewichtsmedium (60) thermisch isoliert von dem erwärmten Arbeitsmittel (52) und dem erwärmten Wärmedium (56) in durch Kolben (170) räumlich abgegrenzten Gewichtsbereichen (GB) auf das obere Niveau transportiert wird.

16. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche 14-15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umwandlung der thermischen Energie des Arbeitsmittels (52) und des Wärmediums (56) in potentielle Energie in dem ersten Energiewandler (25,26)

- in mindestens 10, bevorzugt mehr als 20 voneinander unabhängigen, einzelnen Arbeitsbereichen (AB) erfolgt
- kontinuierlich und stufenlos verläuft
- eine selbsttätige Anpassung der p-V-Kennlinie des ersten Energiewandlers (25,26) nach Anspruch 2-5 an die p-V-Verdampfungskennlinie des verwendeten Arbeitsmittels erfolgt.

17. 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**, das die Umwandlung in mindestens den Schritten erfolgt:

- die thermische Energie der Niedertemperaturwärmequelle wird in einem ersten Schritt in einem Verfahren nach den Ansprüchen 14-16 in potentielle Energie umgewandelt
- Die potentielle Energie wird in einem zweiten Schritt in technisch nutzbare mechanische Energie umgewandelt

18. Verfahren (E-TLC2-Prozess) nach Anspruch 17 mit zumindest den folgenden Verfahrensschritten:

- **Schritt a:** Isobares Erwärmen eines unter Dosierdruck (pD) stehenden flüssigen Arbeitsmittels (51) und eines unter Dosierdruck (pD) stehenden flüssigen Wärmemedium (55) - die auch als Arbeitsgemisch (58) vorliegen können - aus einer Niedertemperaturwärmequelle ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt b:** Polytrope Umwandlung der aufgenommenen thermischen Energie nach Anspruch 1 in mindestens einem, bevorzugt mehreren ersten Energiewandler (25,26) gemäß Anspruch 2-5 in potentielle Energie des Arbeitsmittels und des Wärmemediums
- **Schritt c:** Isobares Kondensieren des verdampften Arbeitsmittels (54)
- **Schritt d:** Isotherme Umwandlung eines Teils der gewonnenen potentiellen Energie des Arbeitsmittels und des Wärmemediums - die auch als Arbeitsgemisch (58) vorliegen können - in mindestens einer zweiten Energiewandlungsvorrichtung (34) in technisch nutzbare mechanische Energie

19. Verfahren (mE-TLC2-Prozess) nach Anspruch 17 mit zumindest den folgenden Verfahrensschritten:

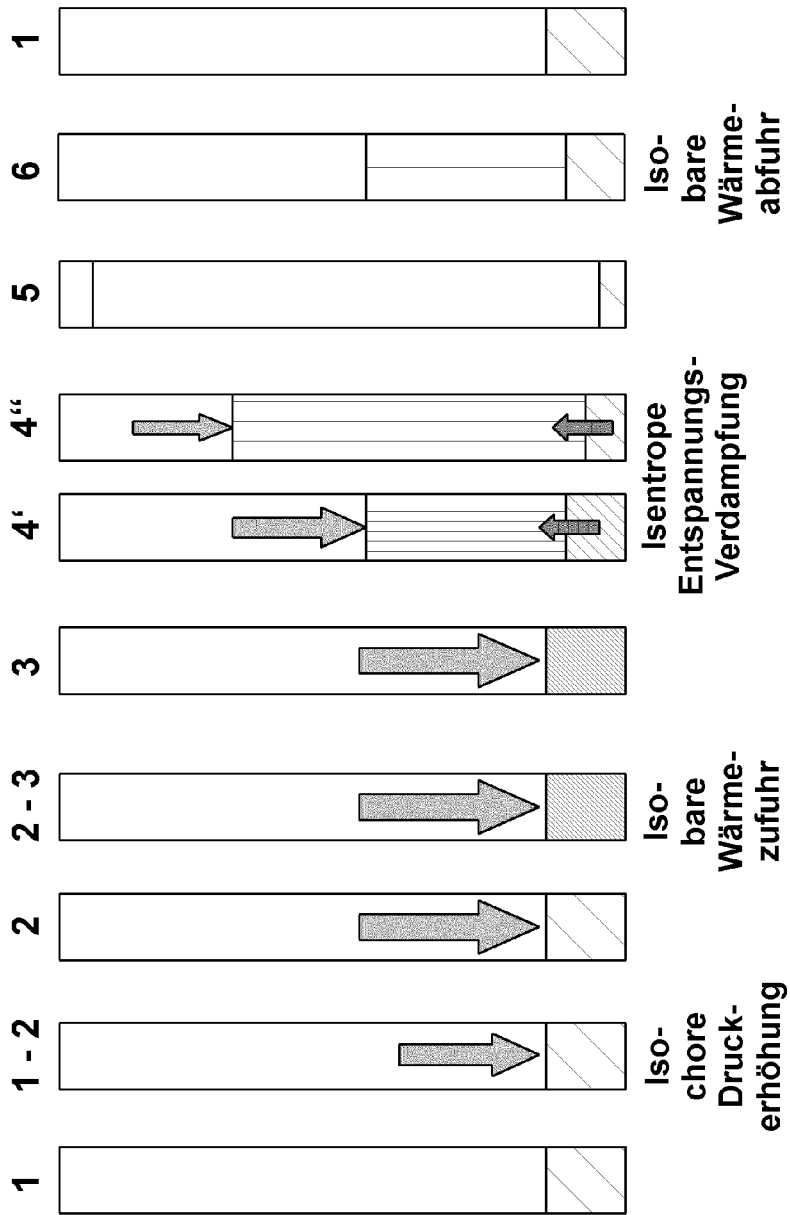
- **Schritt a:** Polytrope Umwandlung der thermischen Energie eines unter Dosierdruck stehenden erwärmten Arbeitsmittels (52) und eines unter Dosierdruck stehenden erwärmten Wärmemediums (56) - die auch als Arbeitsgemisch (58) vorliegen können - nach Anspruch 1 in mindestens einem, bevorzugt mehreren ersten Energiewandler (25,26) gemäß Anspruch 2-5 in potentielle Energie des Arbeitsmittels und des Wärmemediums
- **Schritt b:** Isobares Kondensieren des verdampften Arbeitsmittels (54)
- **Schritt c:** Isochores Erwärmen des flüssigen Arbeitsmittels (51) und des flüssigen Wärmemediums (55) - die auch als Arbeitsgemisch (58) vorliegen können - bei gleichzeitiger Druckerhöhung aus einer Niedertemperaturwärmequelle (31) ohne Verdampfung des Arbeitsmittels
- **Schritt d:** Isotherme Umwandlung eines Teils der gewonnenen potentiellen Energie des Arbeitsmittels (52) und des Wärmemediums (56) in mindestens einem zweiten Energiewandler (34) in technisch nutzbare mechanische Energie ohne Verdampfung des Arbeitsmittels.

20. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche 17-19, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch Variation der Menge des erwärmten Arbeitsmittels (52), des erwärmten Wärmemediums (56) und ggf. des Gewichtsmediums (60) eine kontinuierliche Anpassung

- an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle erfolgt
- an Veränderungen der Kondensationstemperatur erfolgt
- an Veränderungen der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle erfolgt.

Fig. 1

Stand der Technik



2021-04-06 KRo

Fig. 2

Stand der Technik

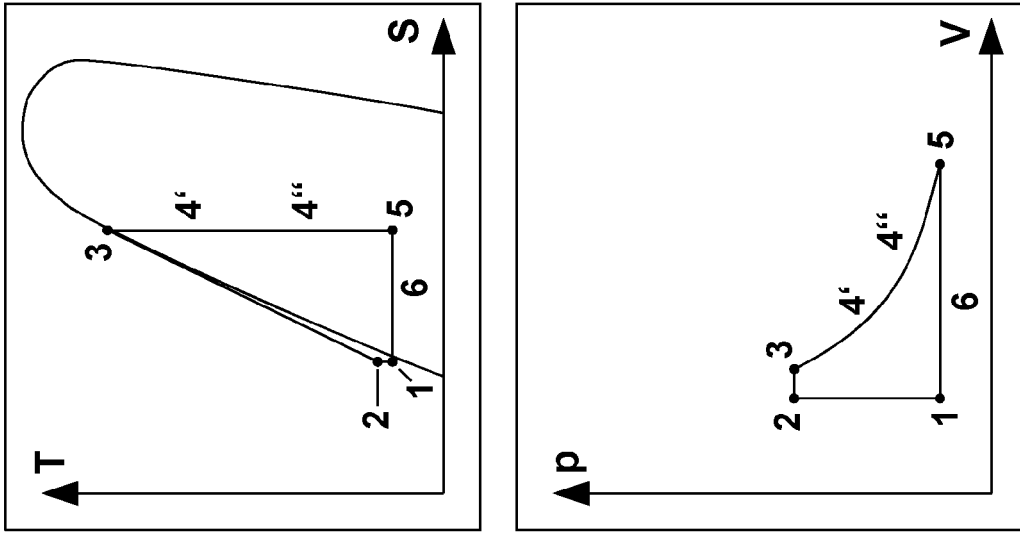
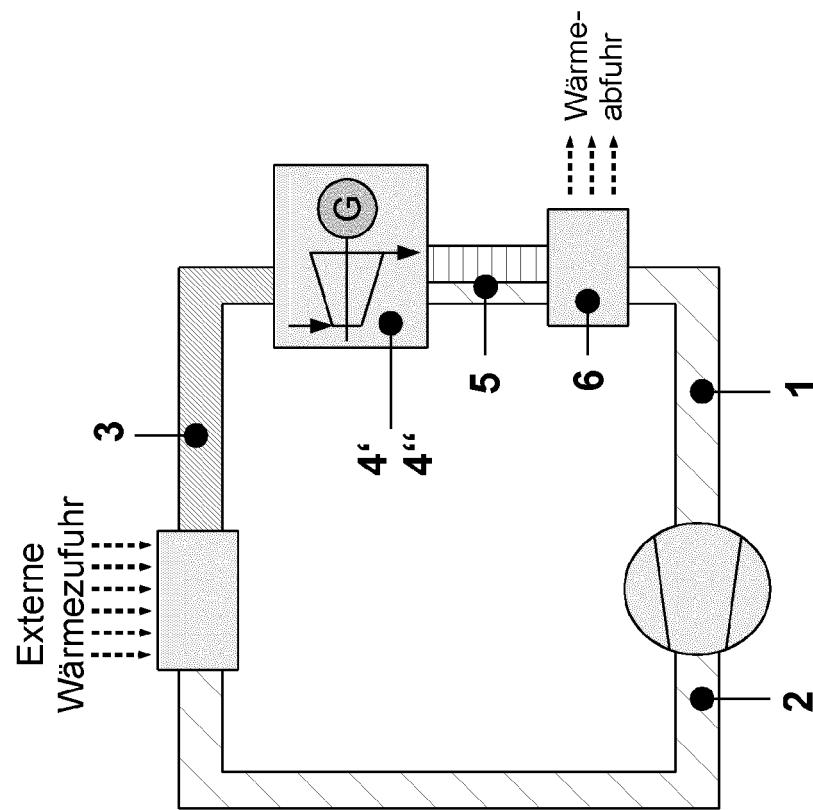


Fig. 3

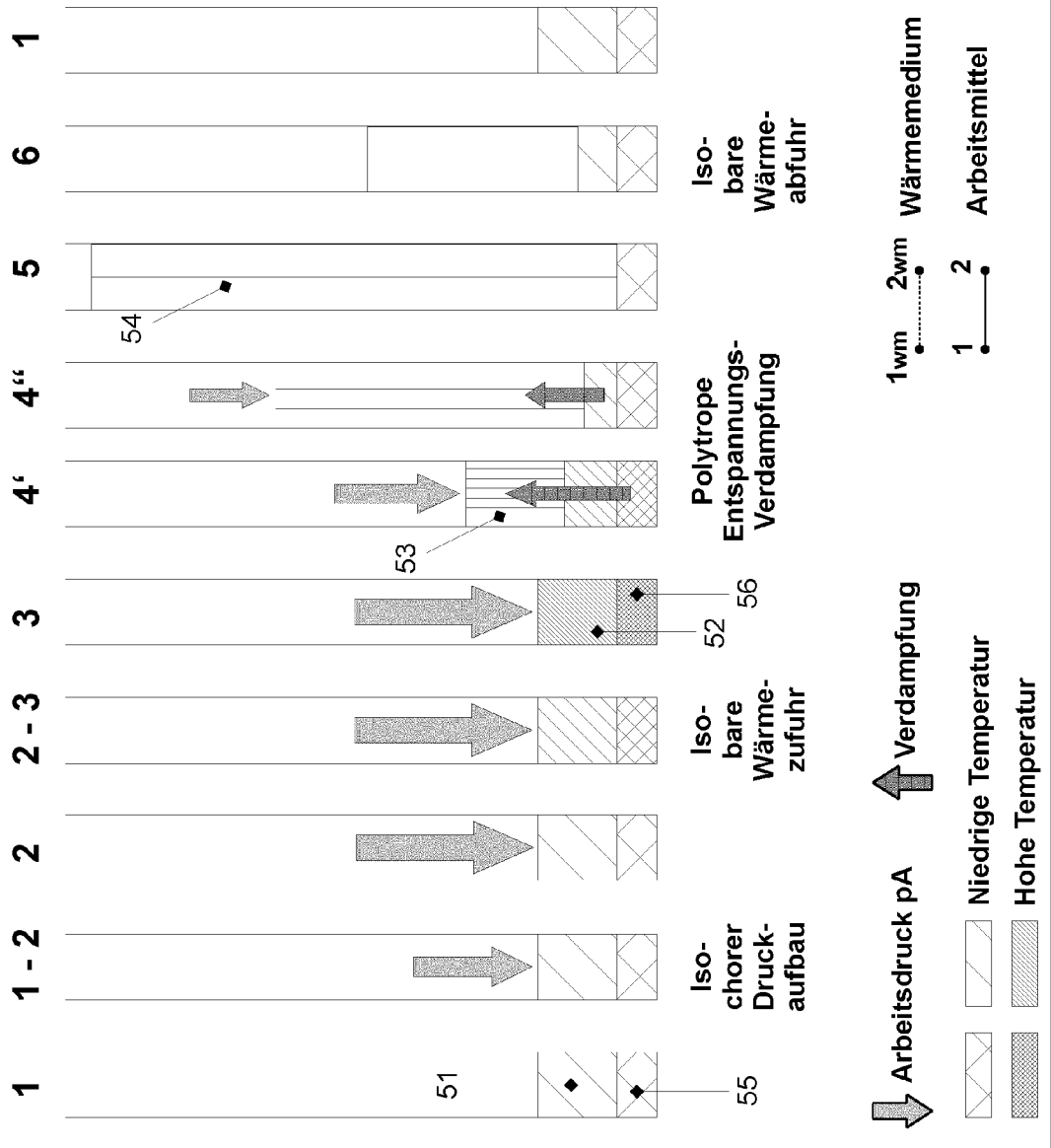


Fig. 4

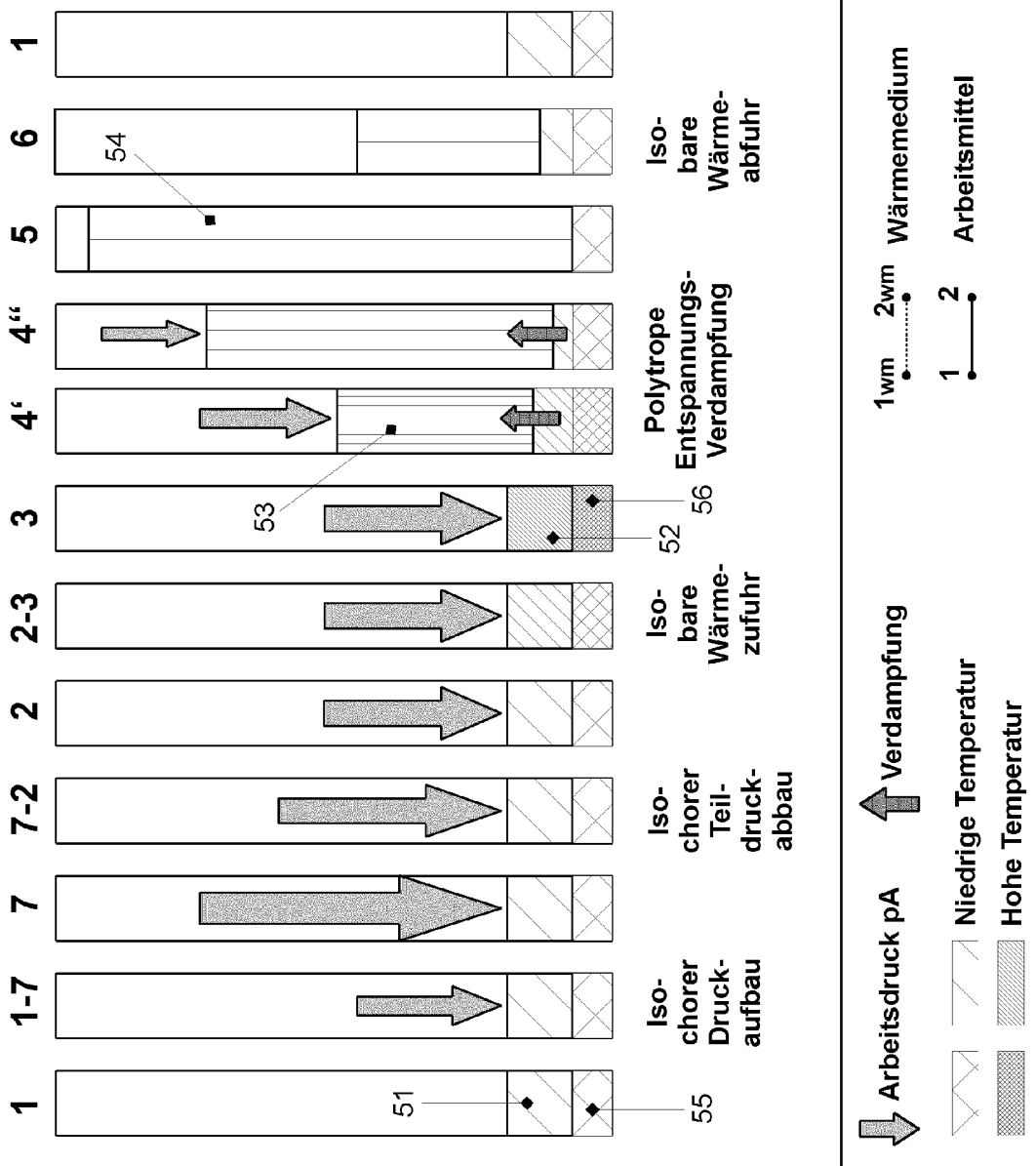
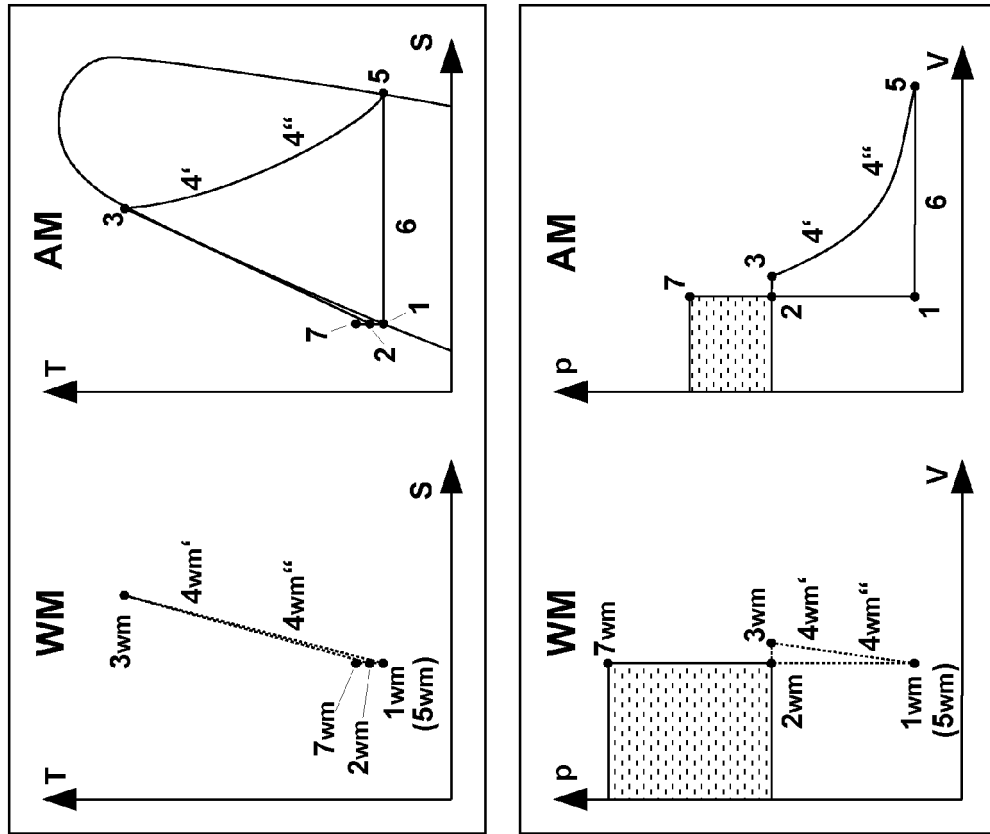
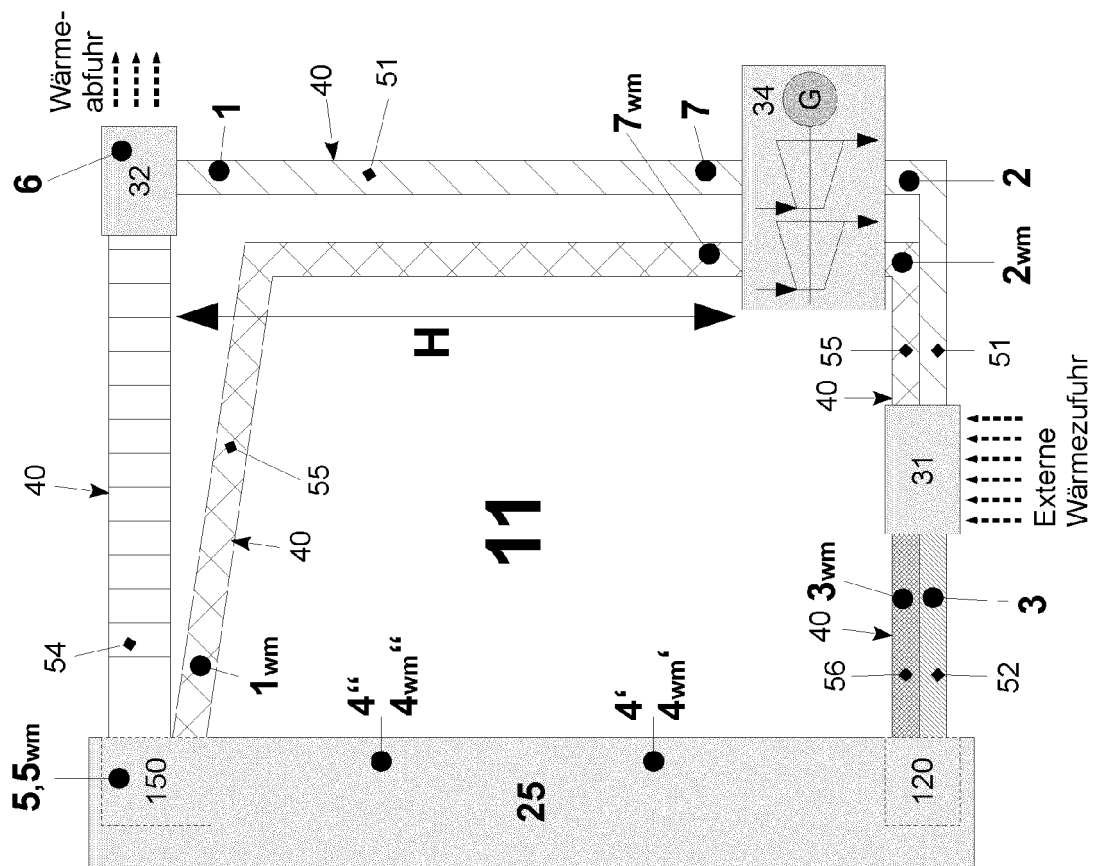


Fig. 5



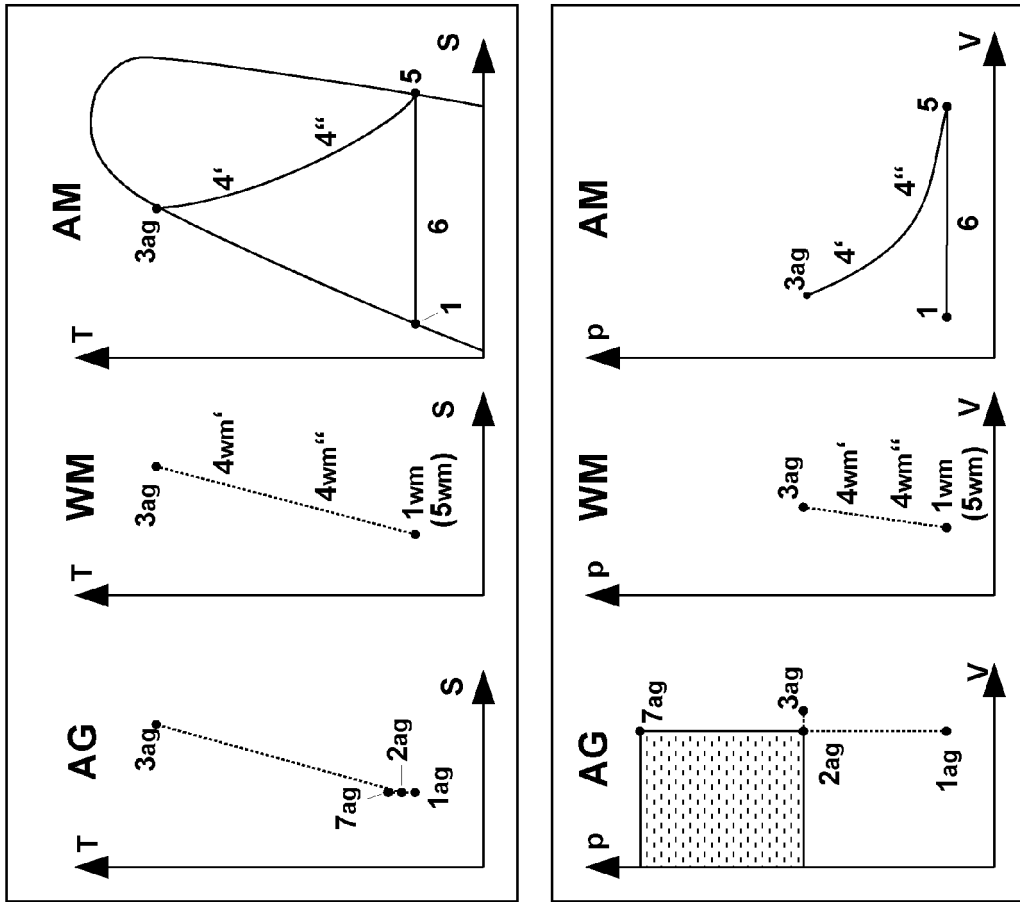
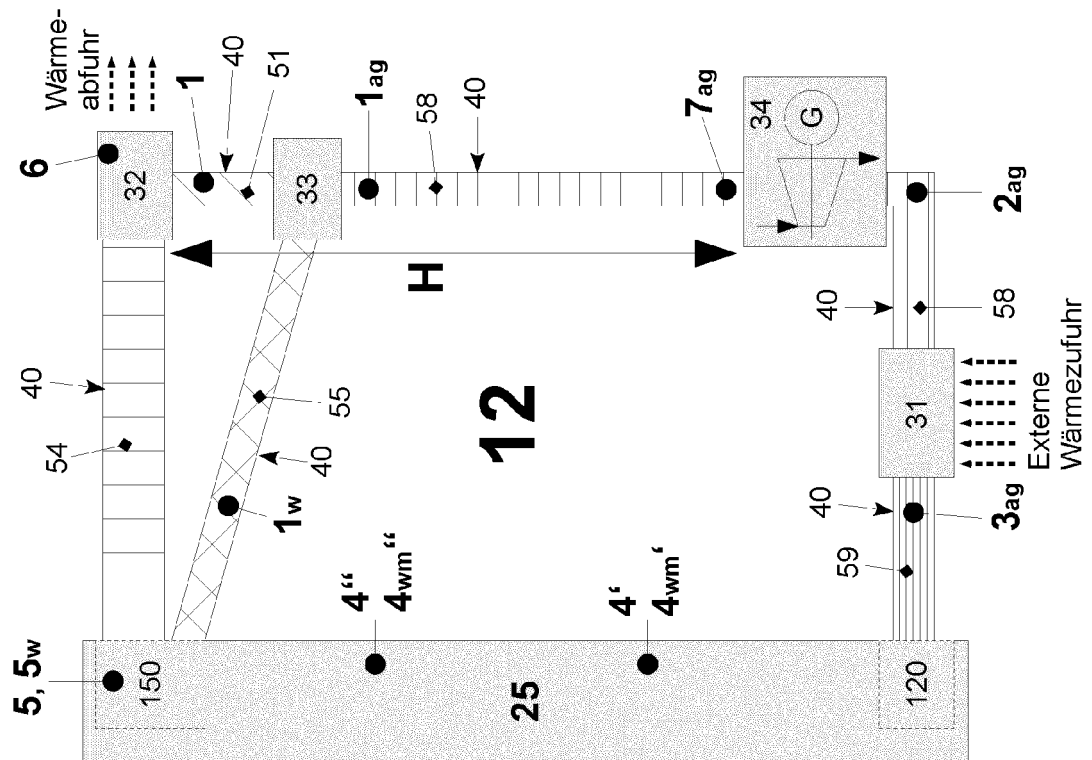


Fig. 7



2021-04-06 KRo

Fig. 8

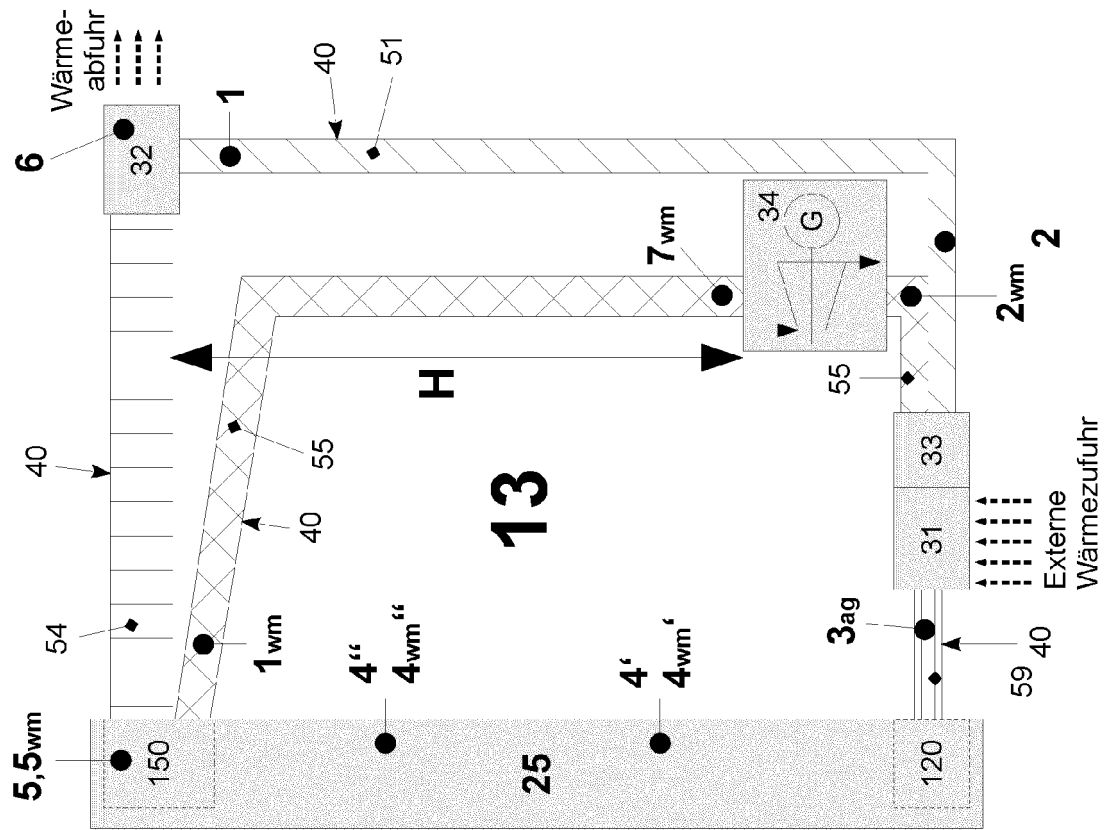


Fig. 9

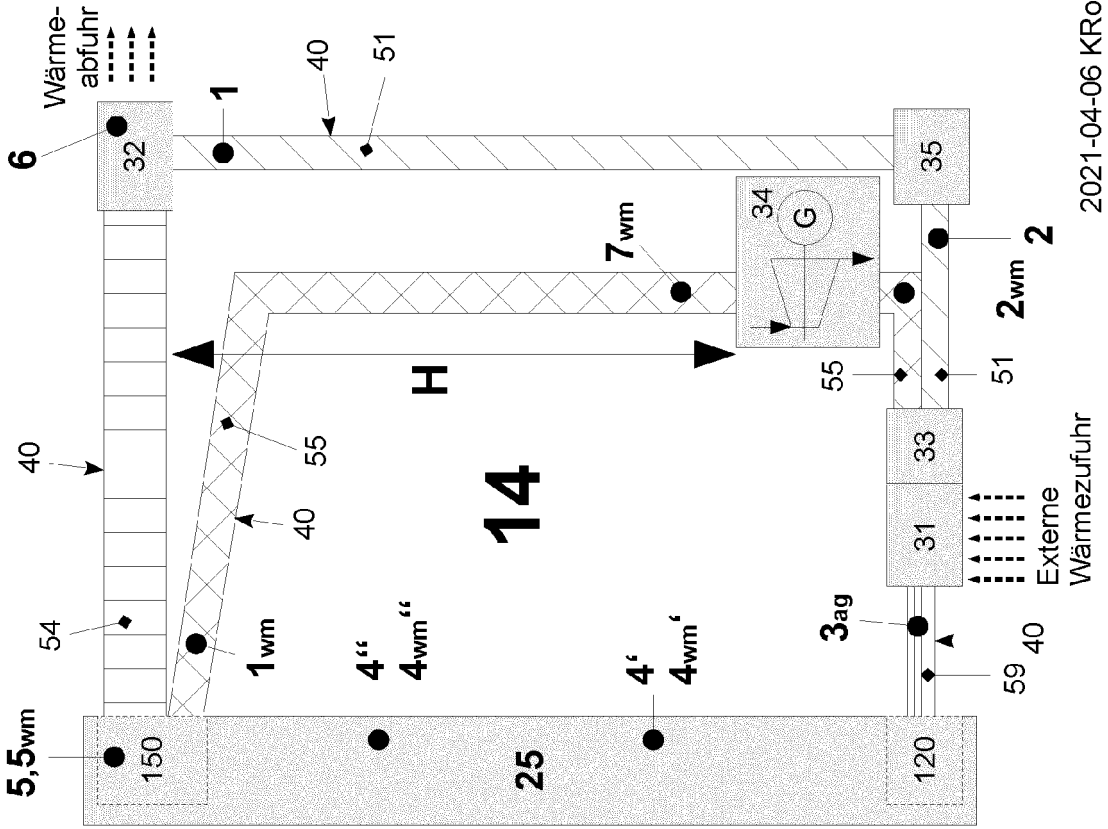
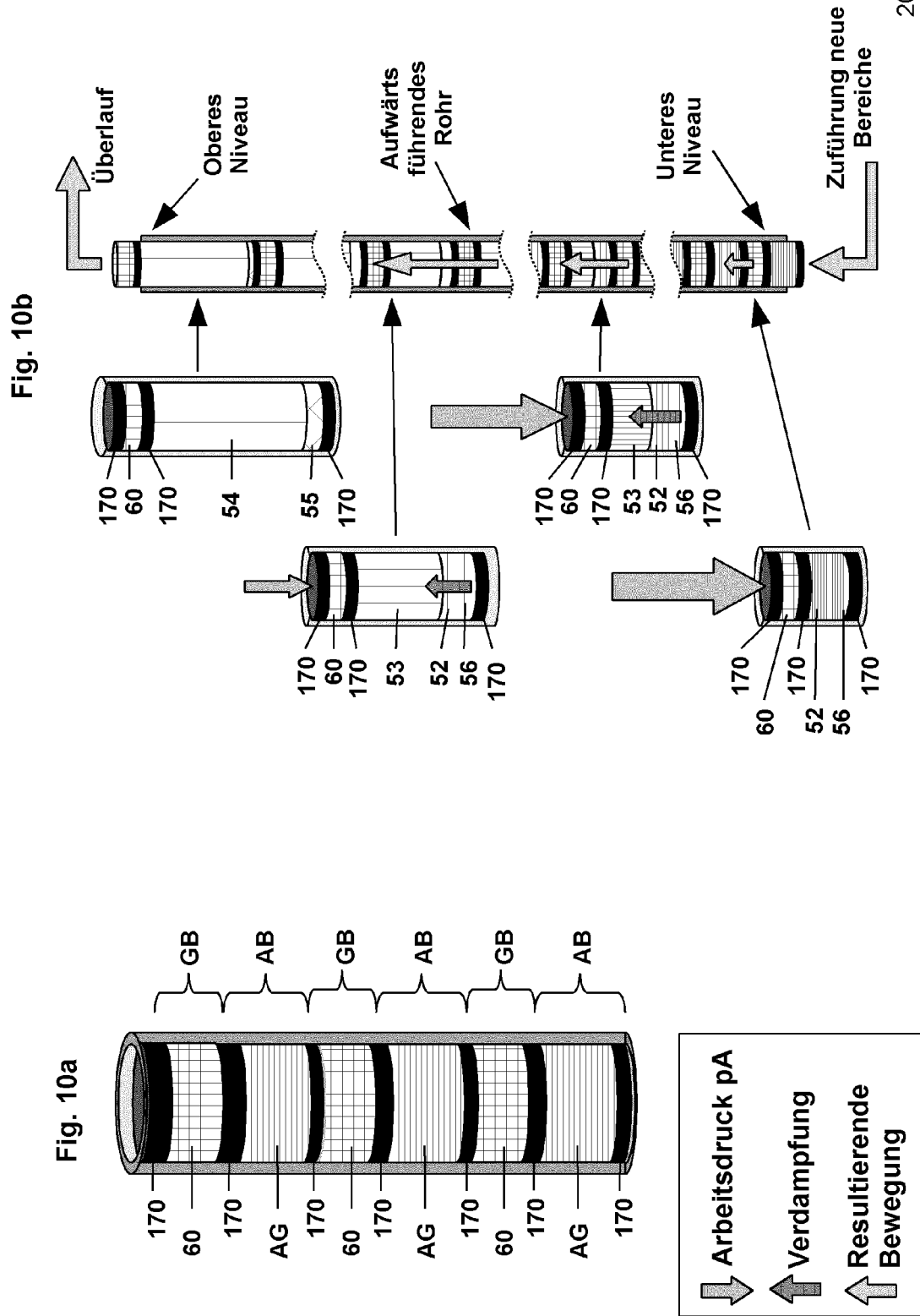
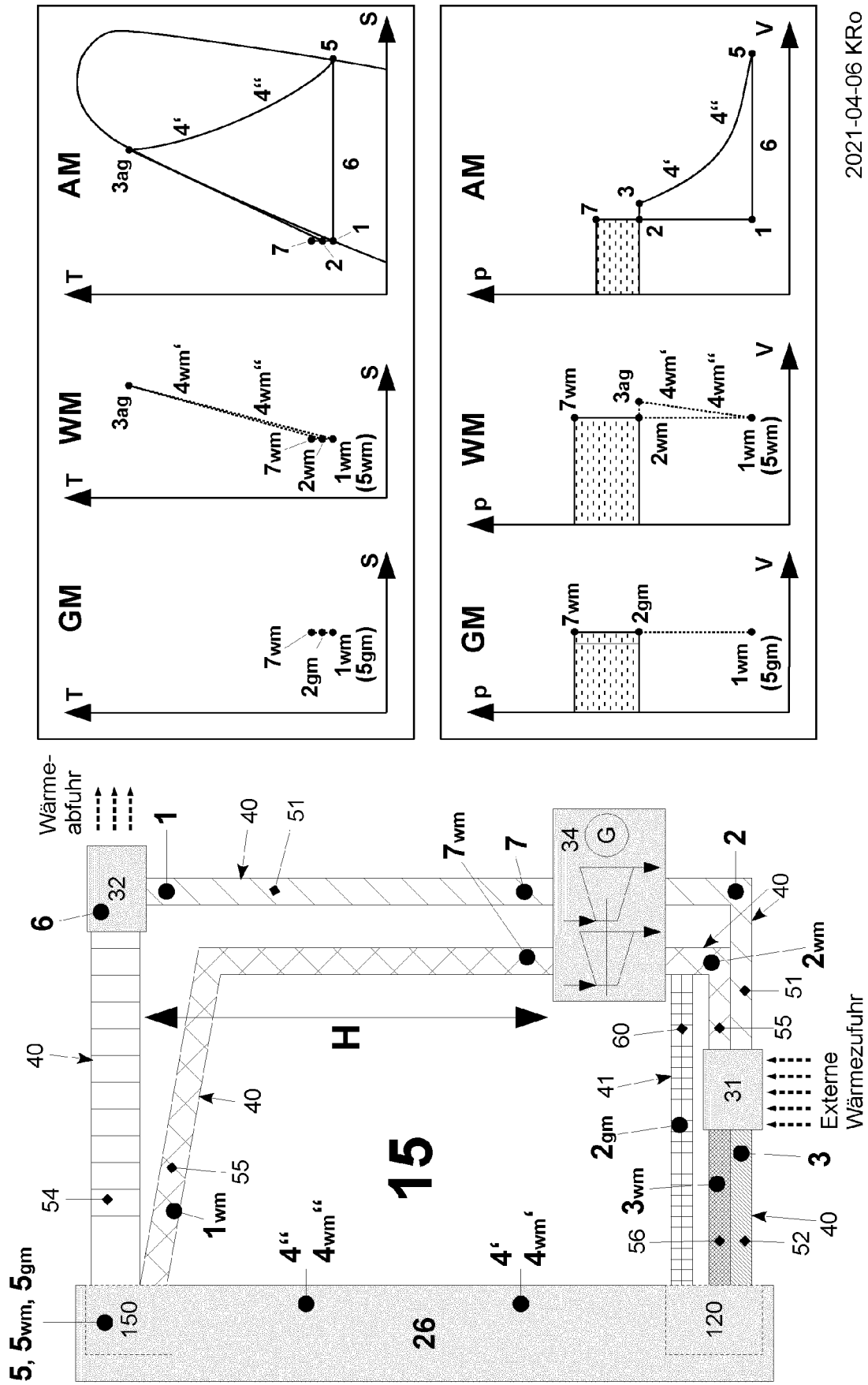


Fig. 10



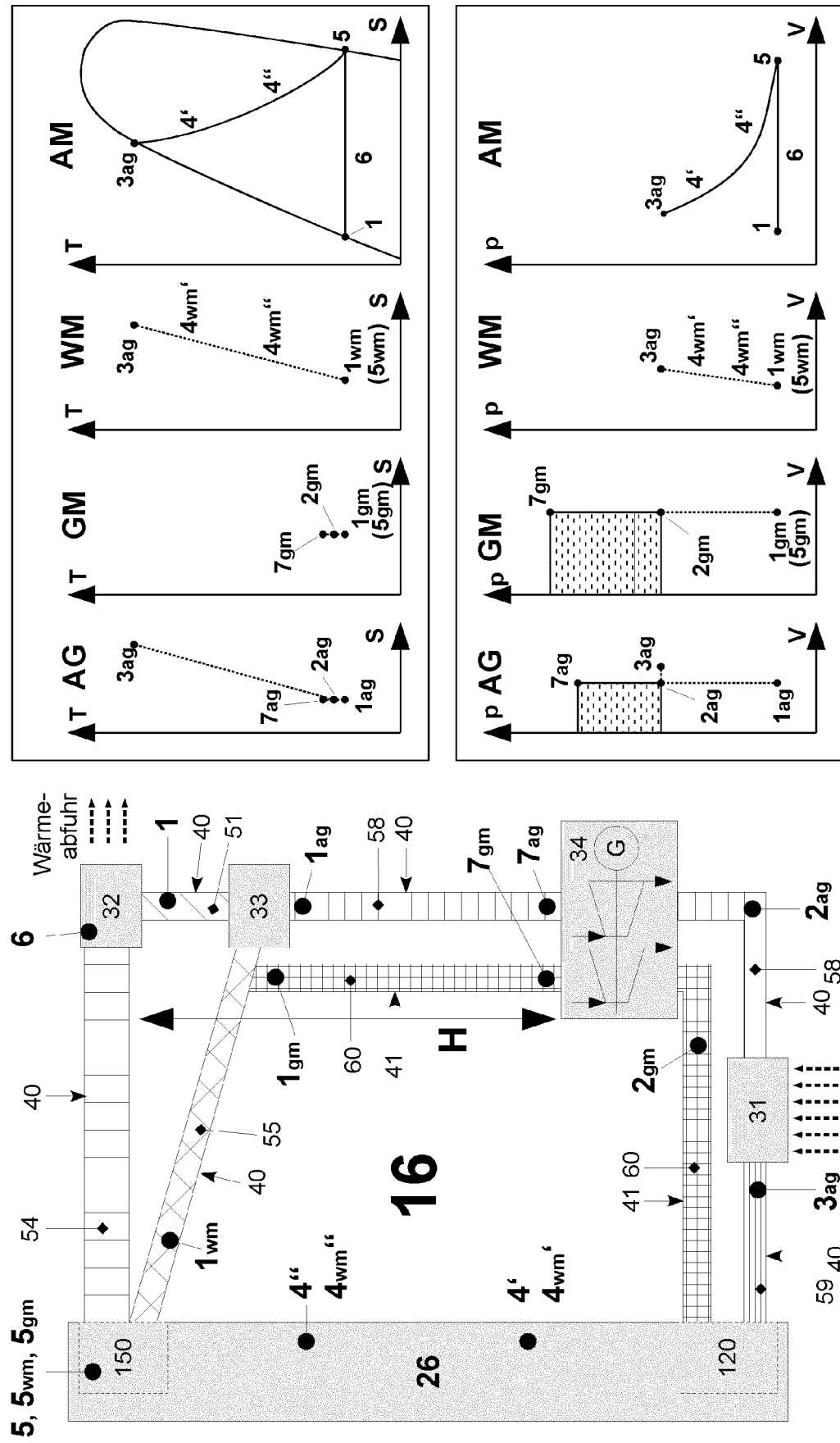
2021-04-06 KRo

Fig. 11



2021-04-06 KRo

Fig. 12



2021-04-06 KRo

Fig. 13

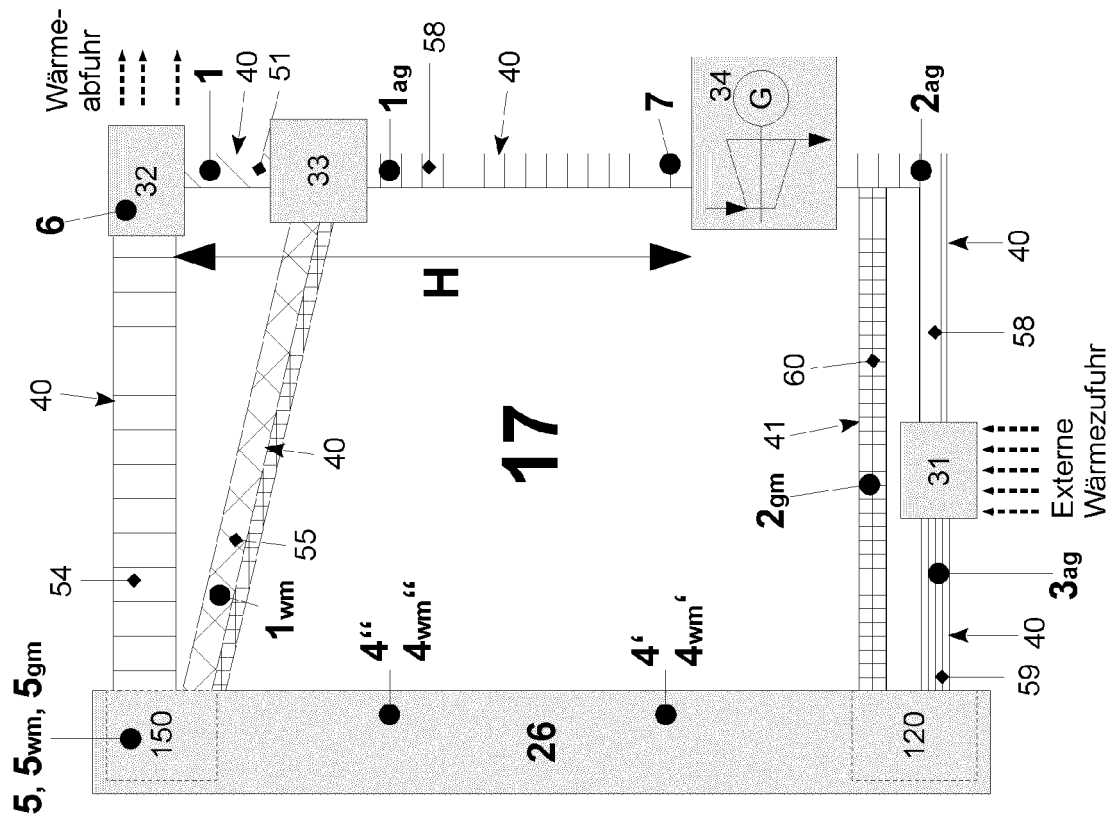


Fig. 14

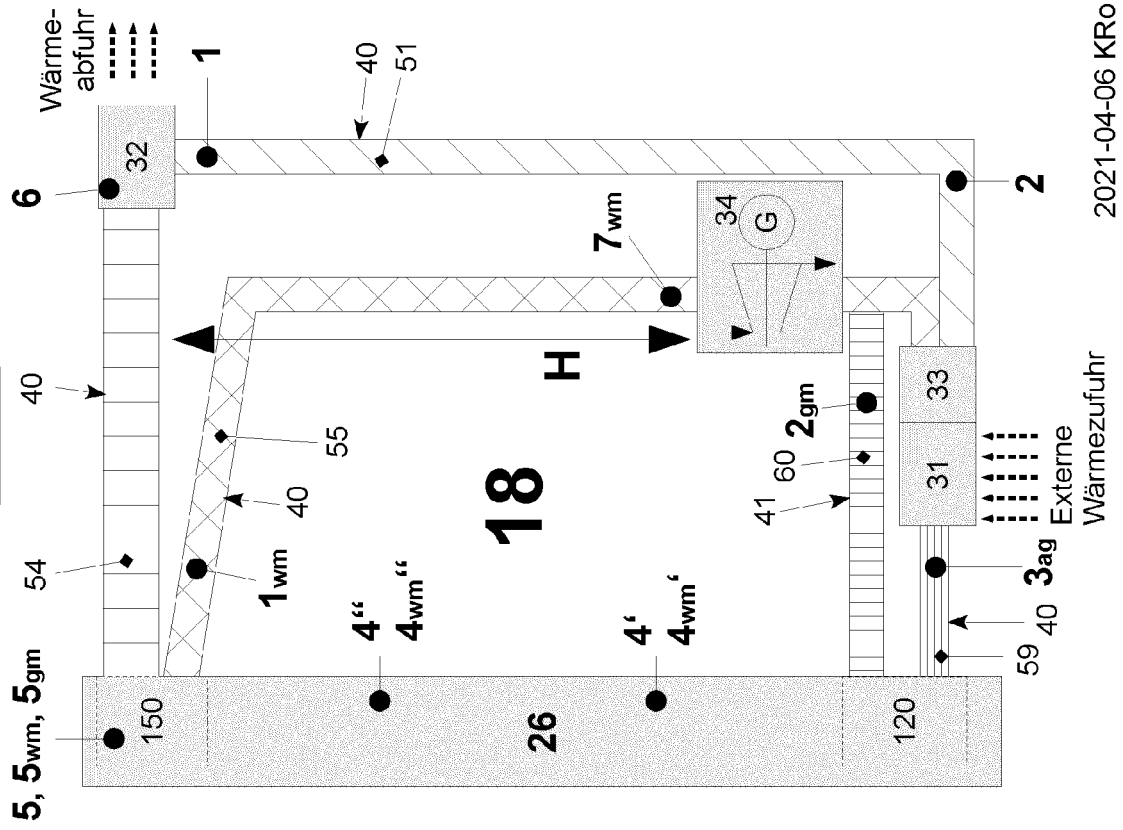


Fig. 15

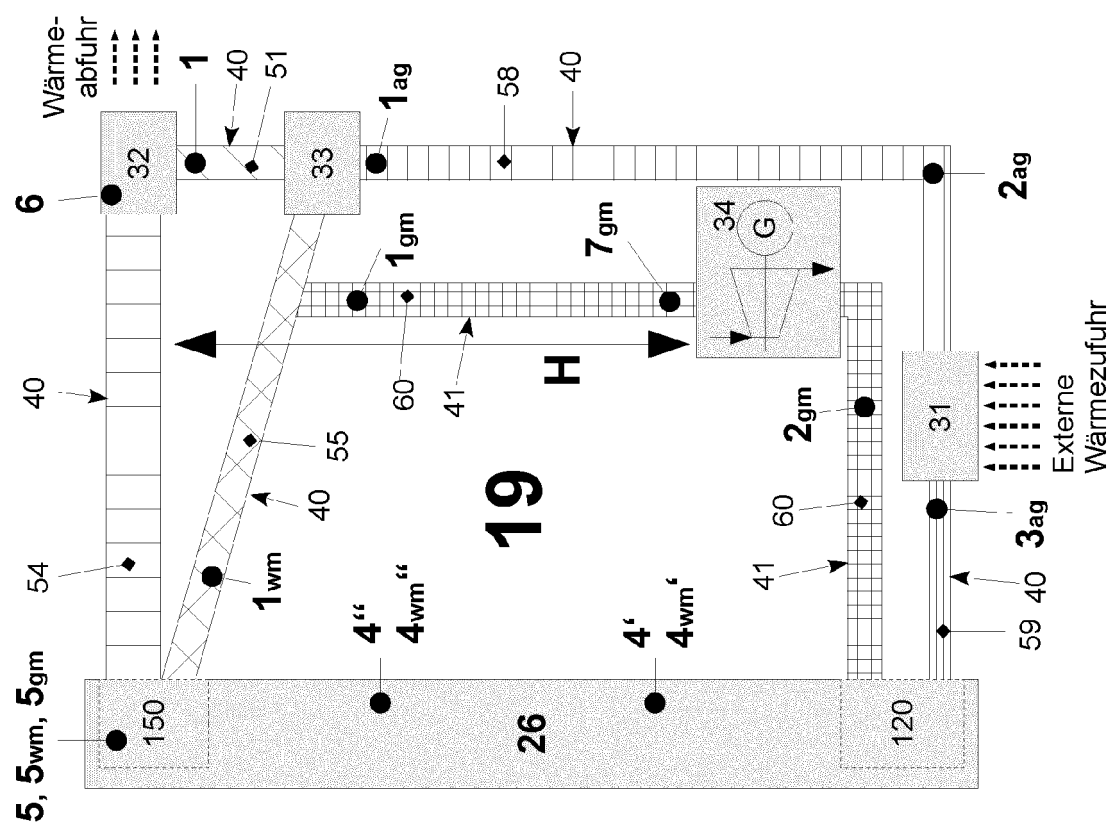


Fig. 16

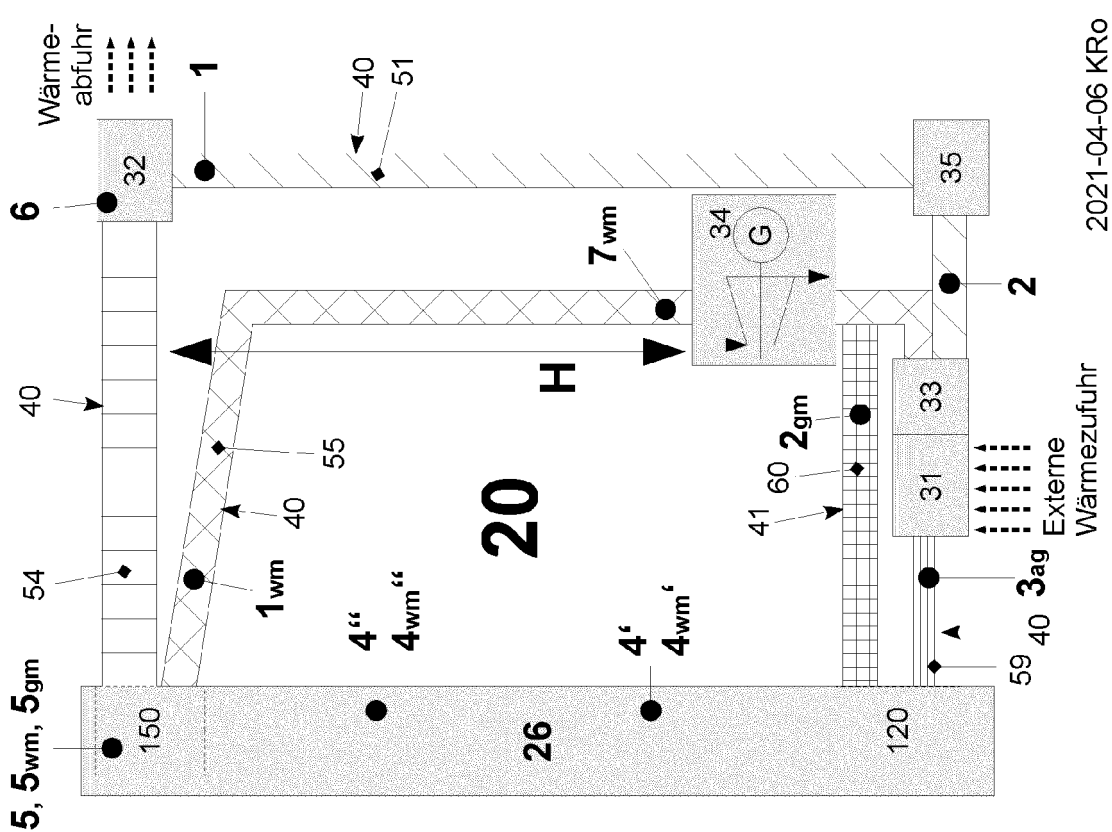


Fig. 17

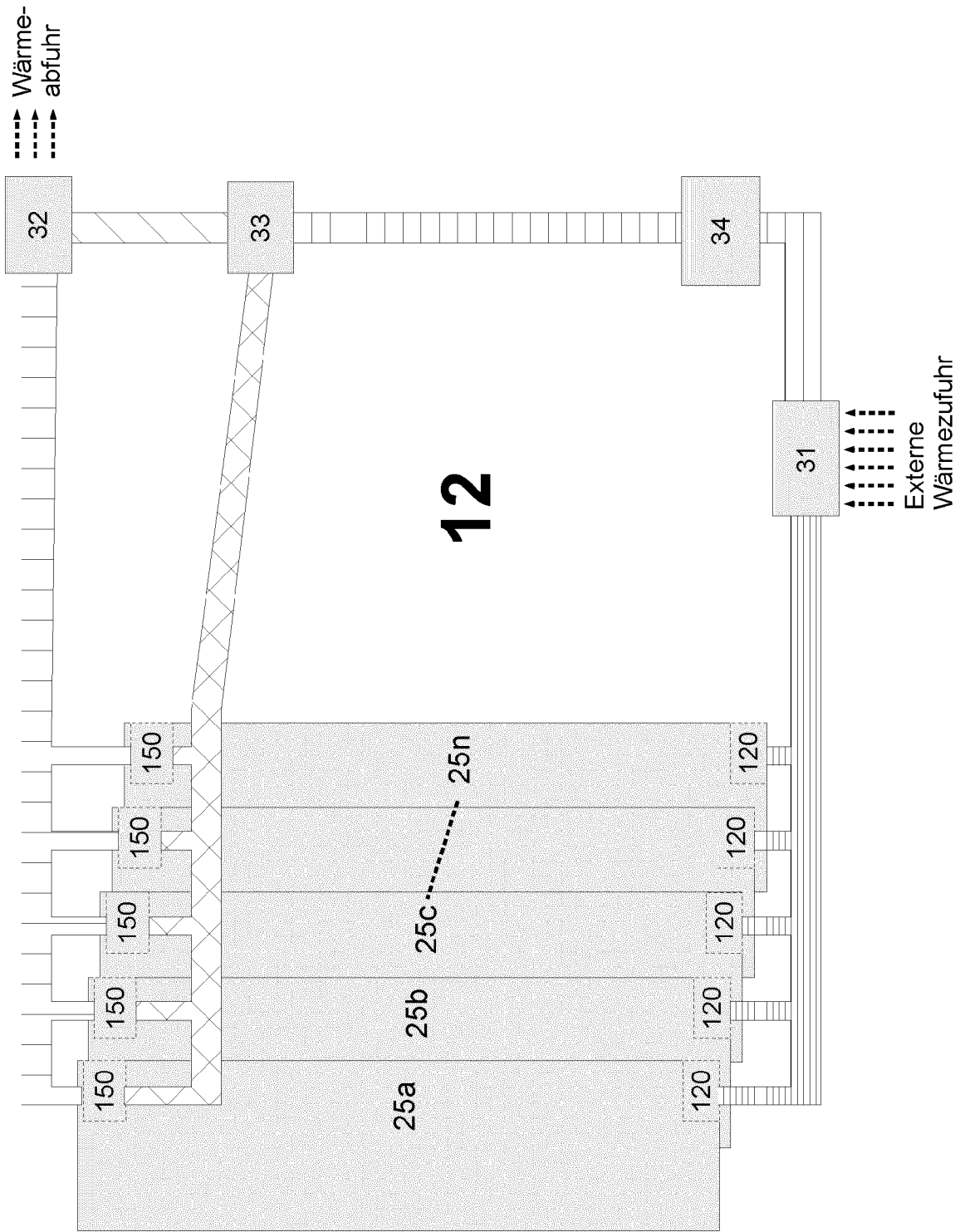


Fig. 18

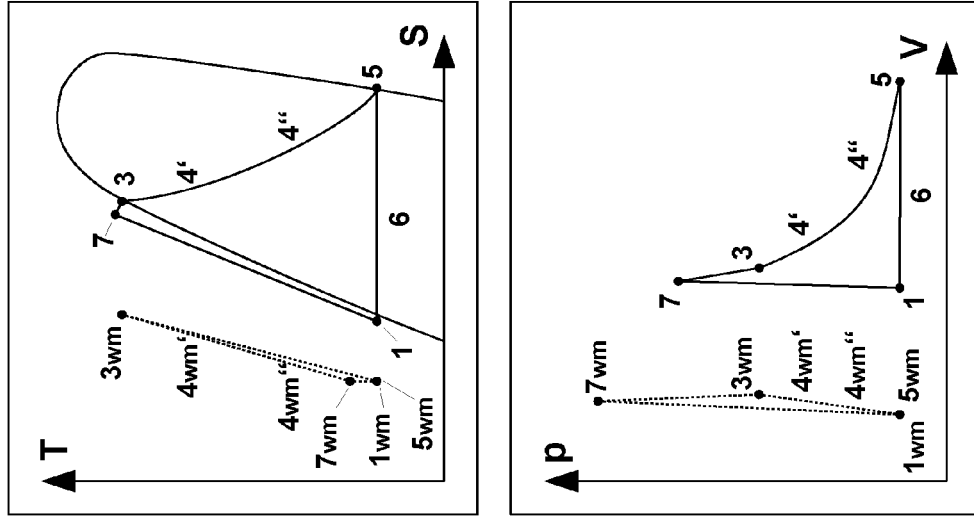
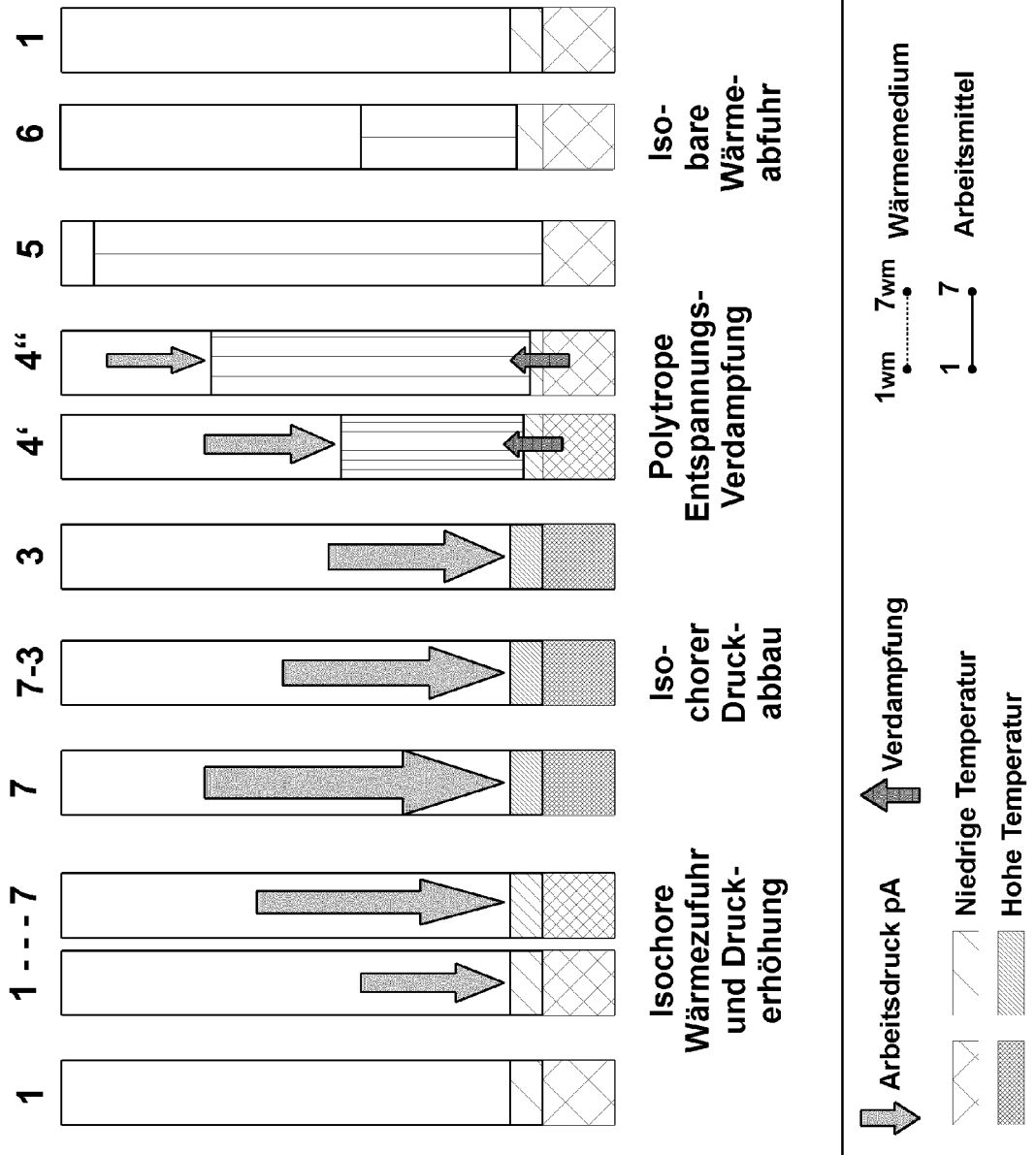


Fig. 20

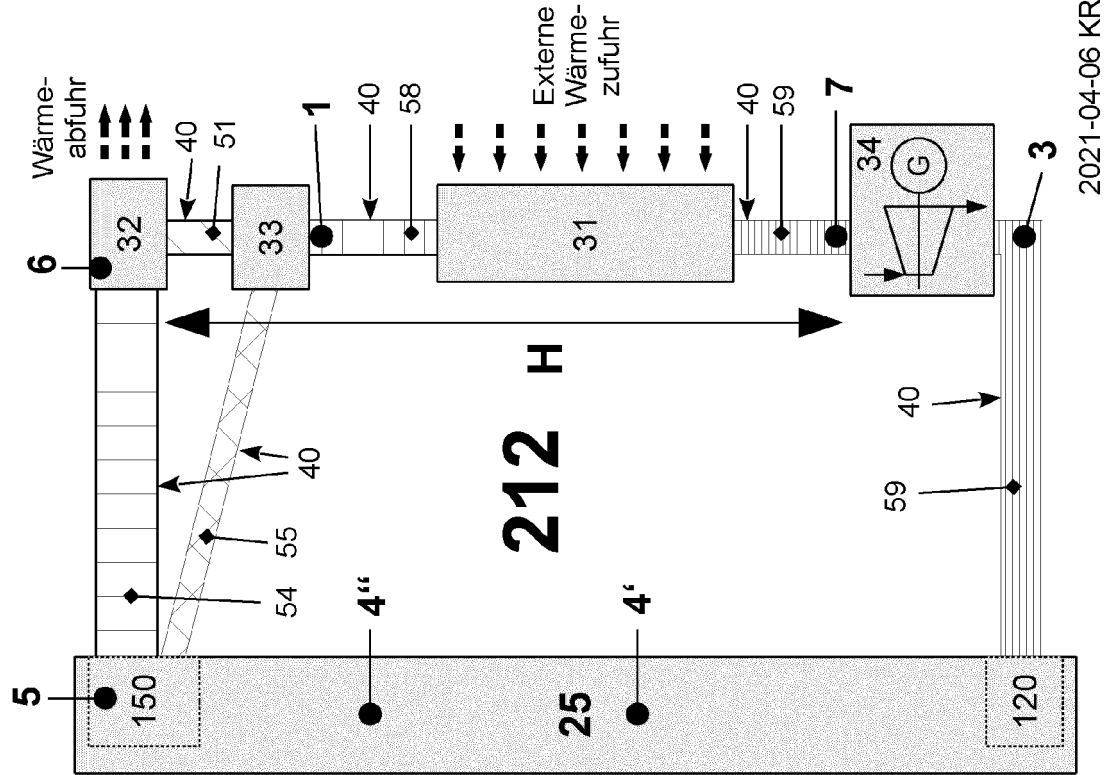


Fig. 19

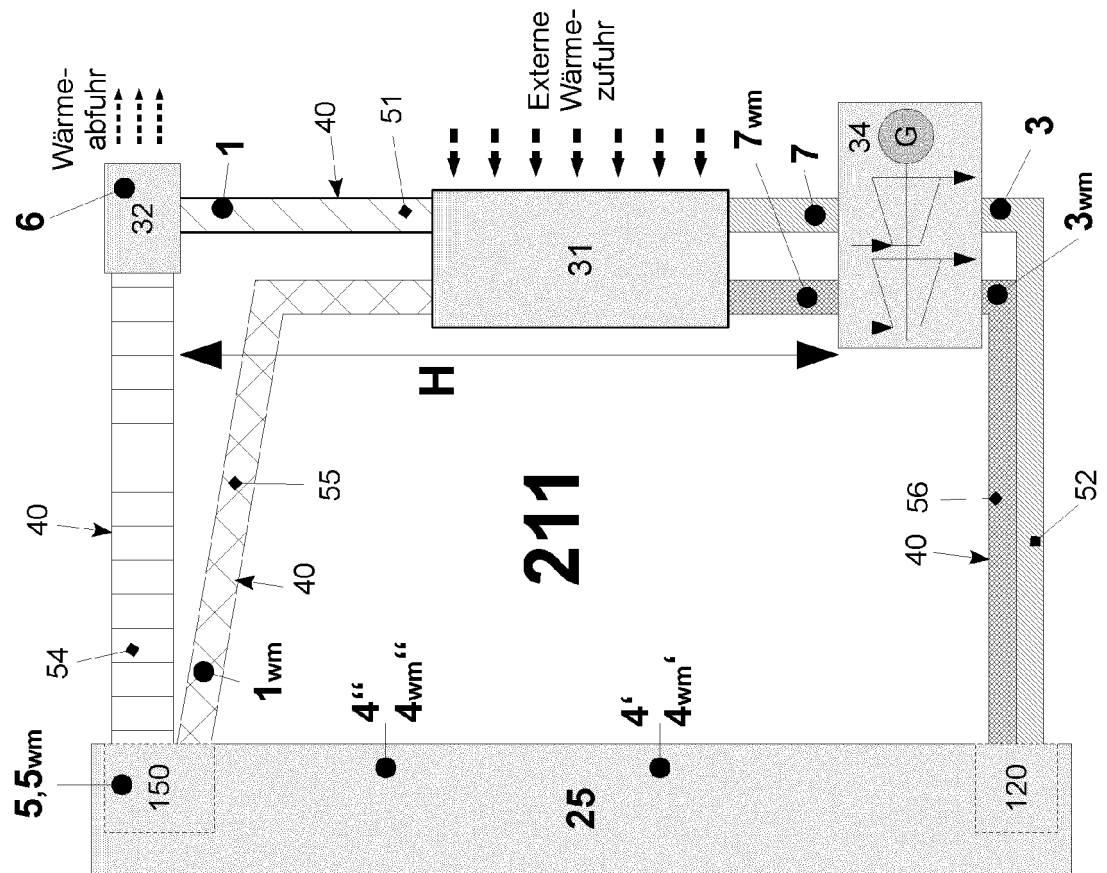


Fig. 21

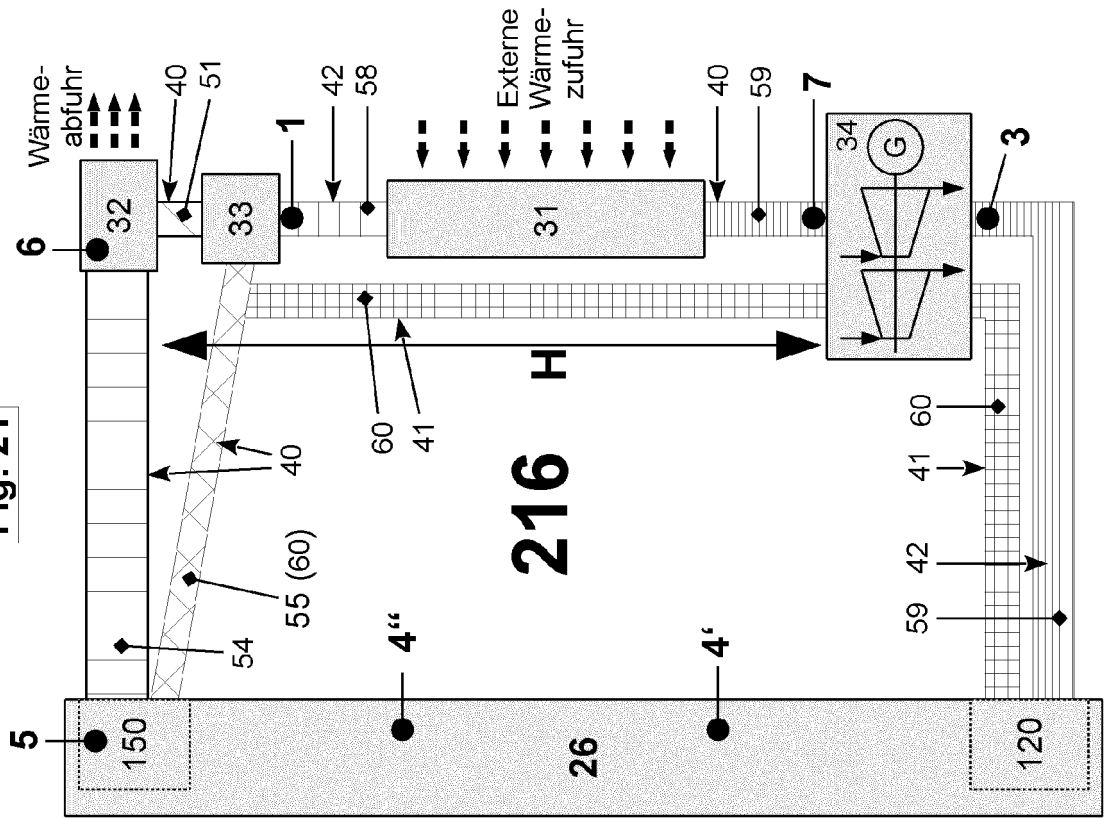
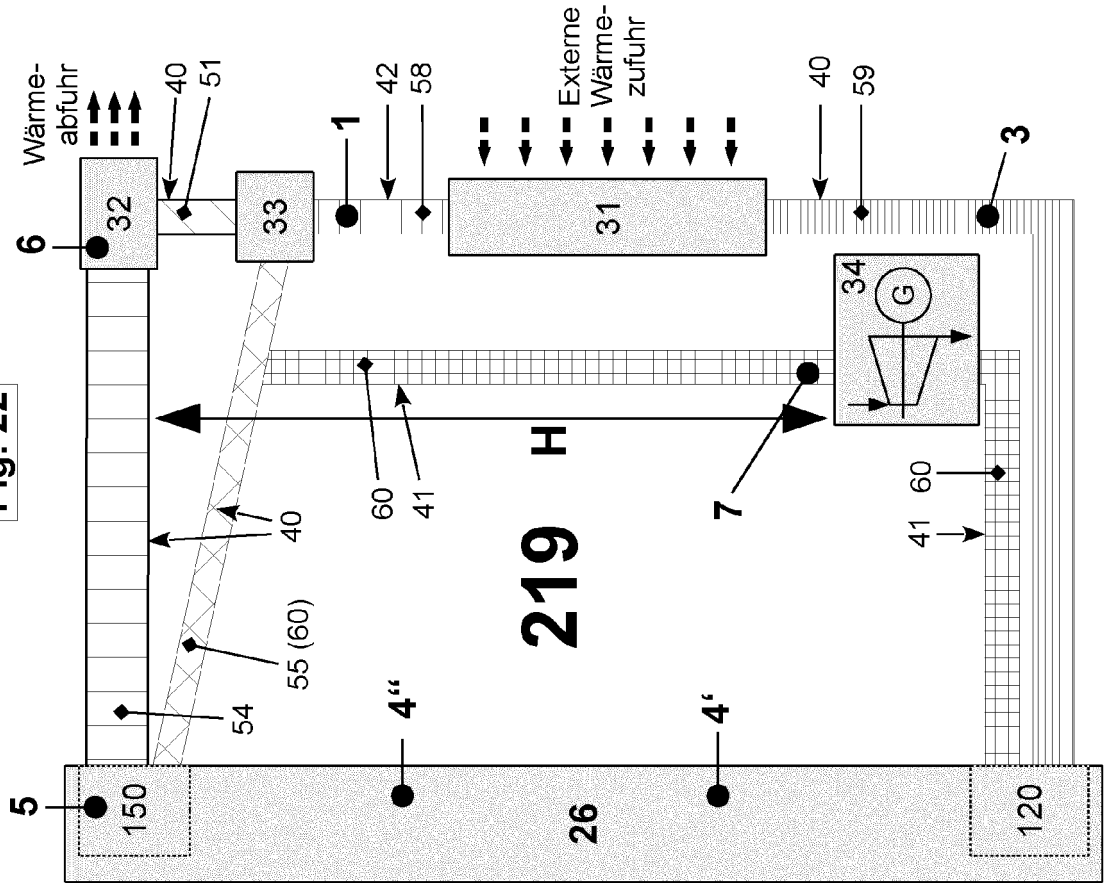
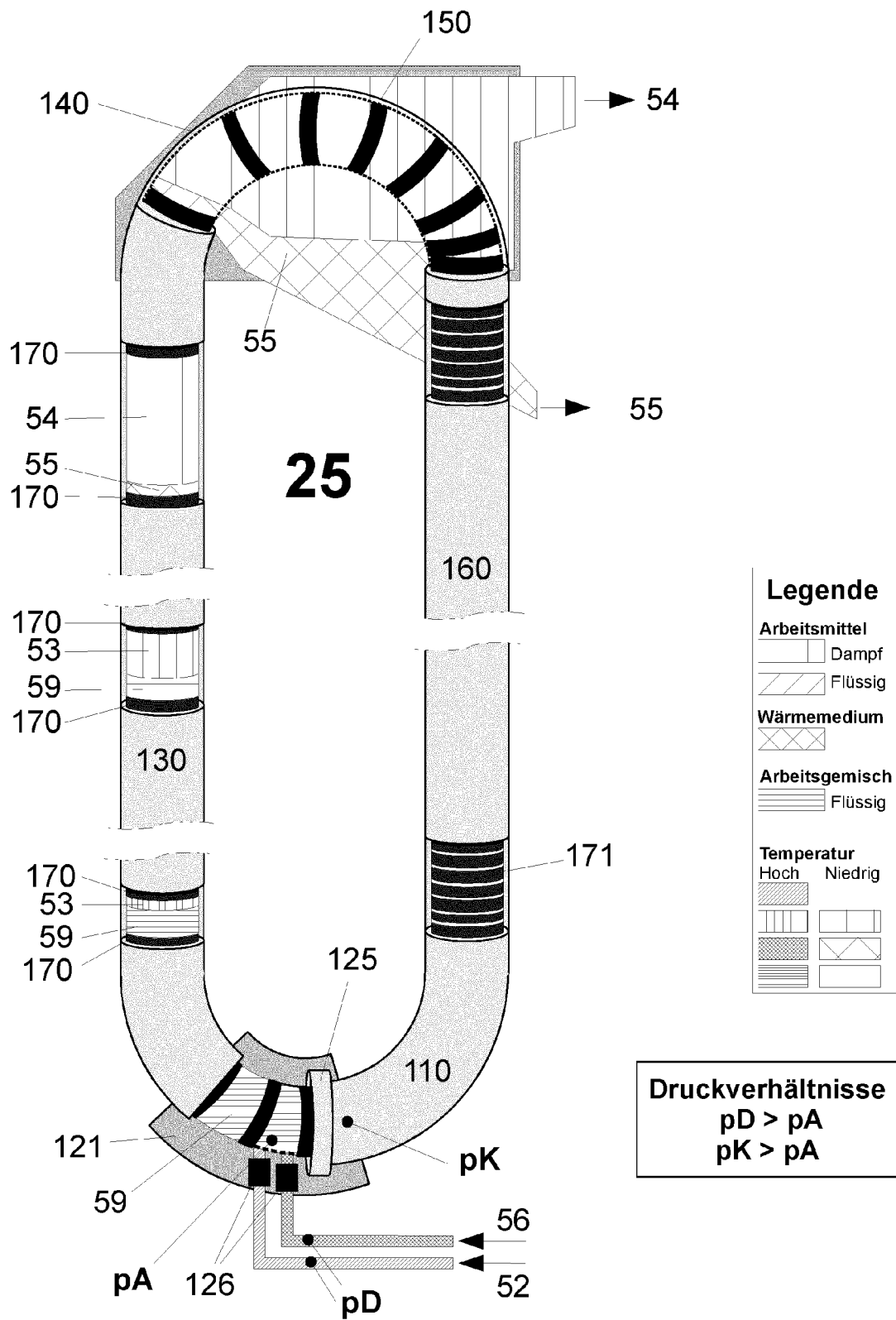


Fig. 22



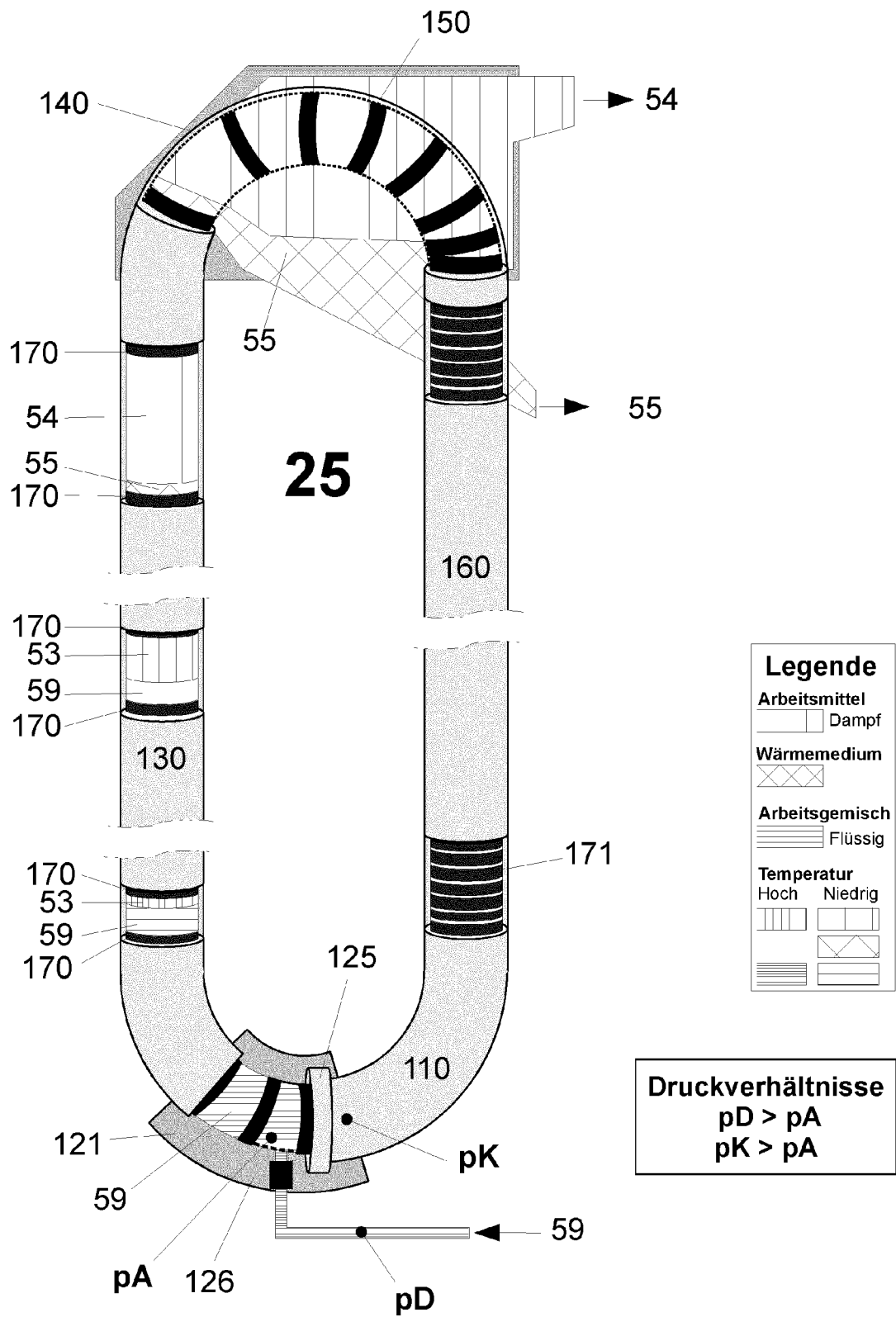
2021-04-06 KRo

Fig.23



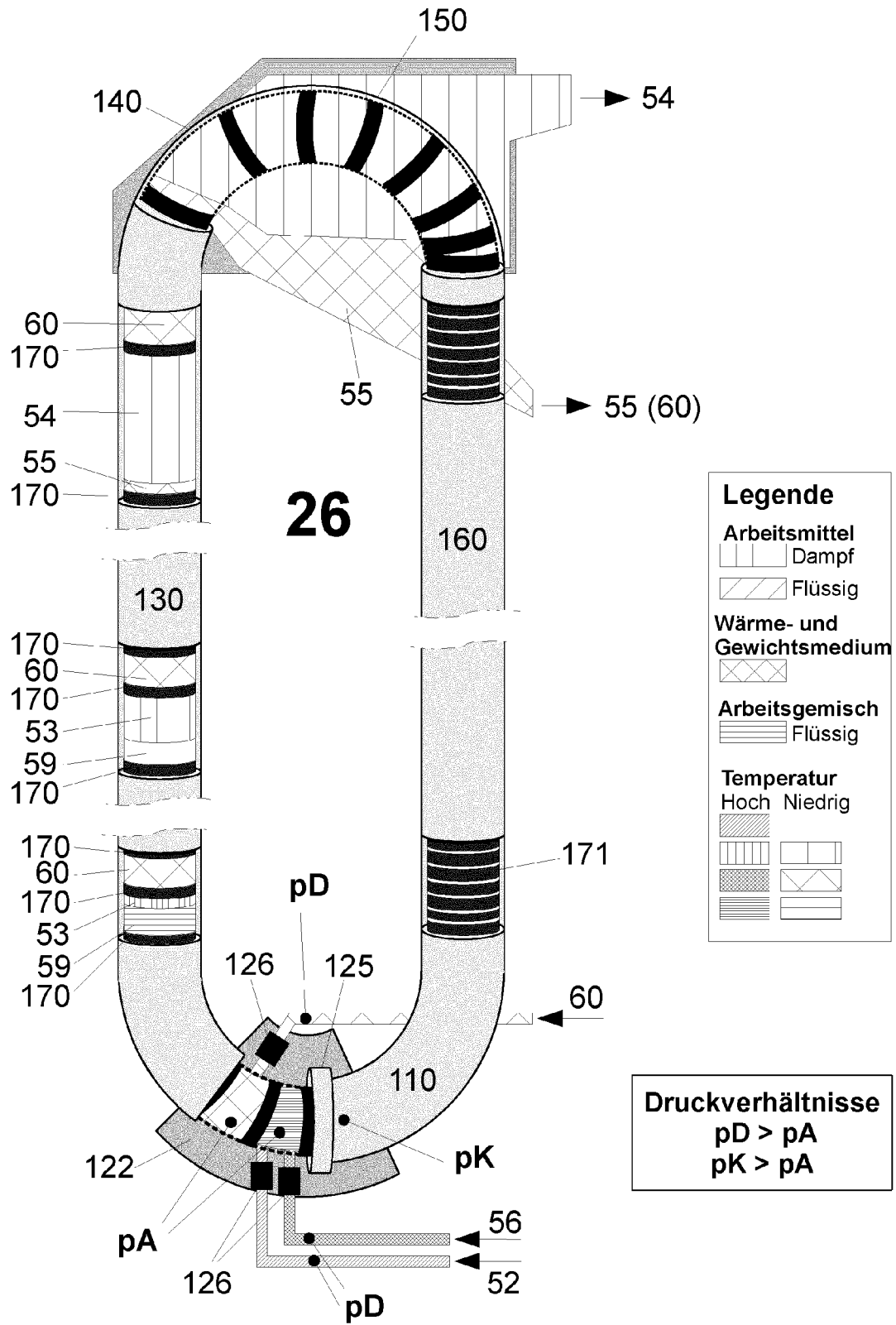
2021-04-06 KRo

Fig.24



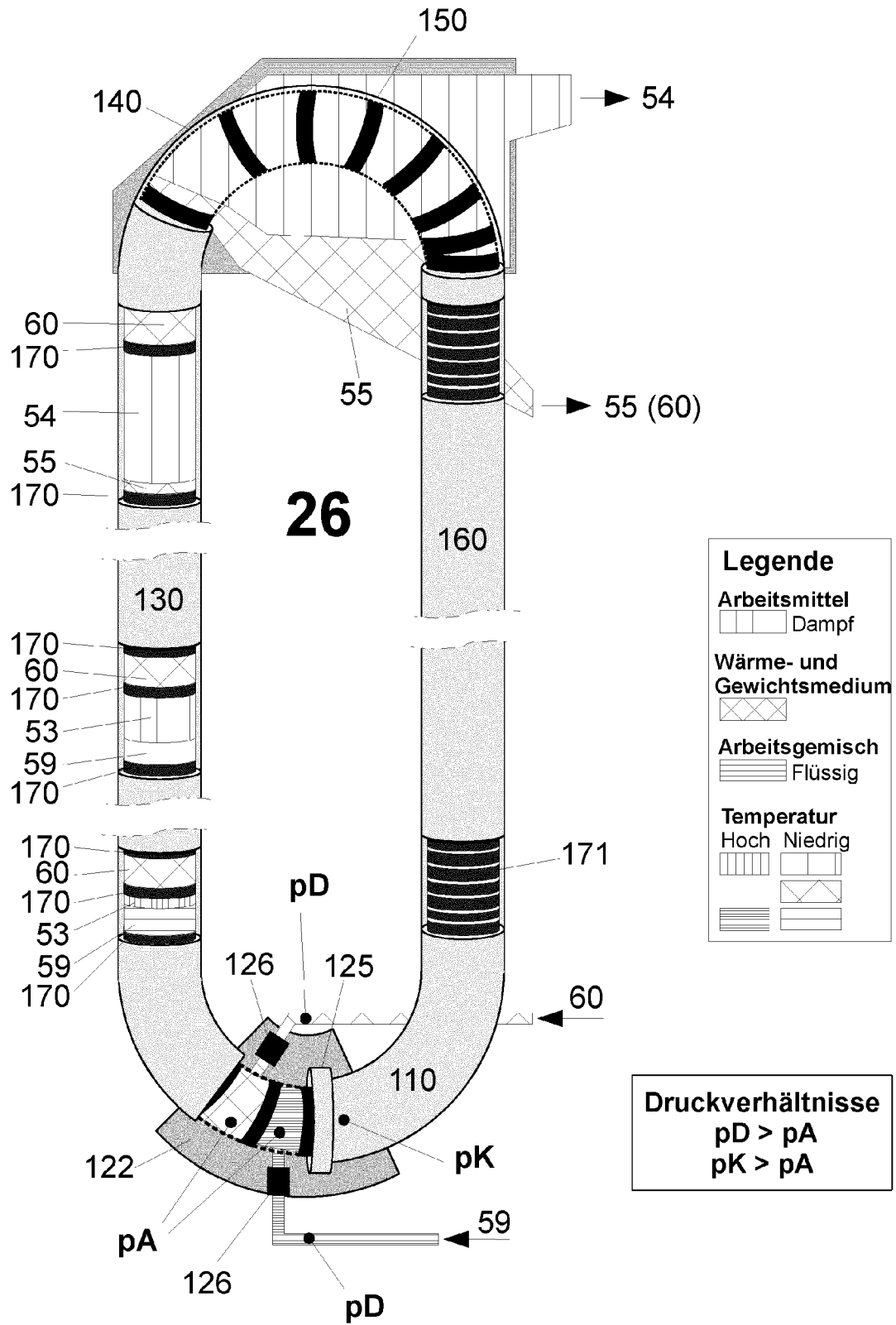
2021-04-06 KRo

Fig.25



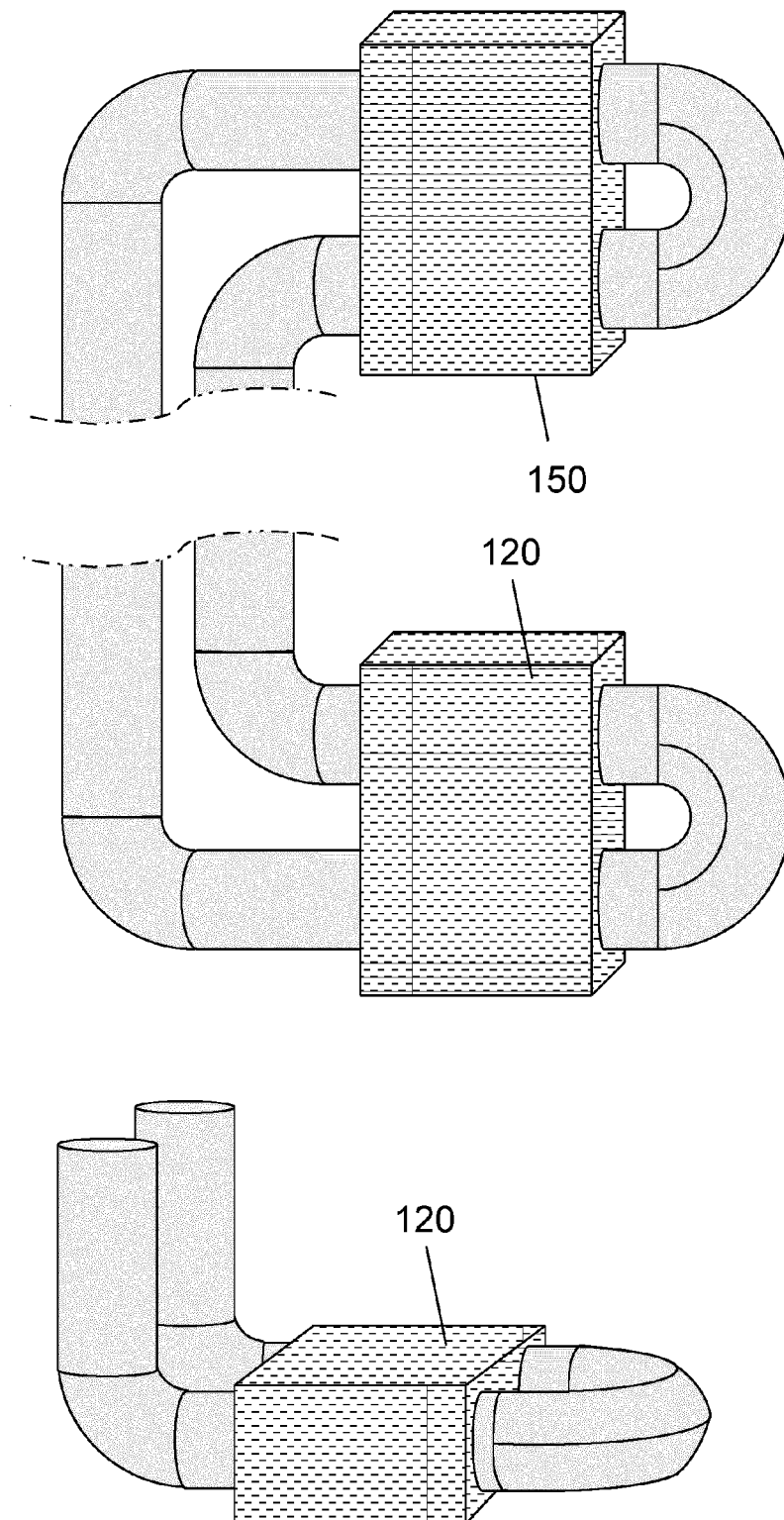
2021-04-06 KRo

Fig.26



2021-04-06 KRo

Fig.28



2021-04-06 KRo



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 4230

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

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	US 2013/341929 A1 (HO TONY [US] ET AL) 26. Dezember 2013 (2013-12-26) * Absätze [0054] – [0063]; Abbildungen 3A, 3B *	1-20	INV. F01K25/06 F22B27/00
A	US 2018/306068 A1 (ATALLA NAJI AMIN [GB]) 25. Oktober 2018 (2018-10-25) * Absätze [0161] – [0163]; Abbildung 3 *	1-20	
A	DE 10 2020 110560 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) 21. Oktober 2021 (2021-10-21) * Absätze [0032] – [0036]; Abbildungen 1, 2 *	1-20	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K F22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 7. Februar 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 4230

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.

07-02-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013341929 A1	26-12-2013	KEINE	
US 2018306068 A1	25-10-2018	CN 104685164 A	03-06-2015
		CN 108868919 A	23-11-2018
		DK 2850290 T3	24-06-2019
		EP 2850290 A2	25-03-2015
		GB 2503305 A	25-12-2013
		HU E043864 T2	30-09-2019
		JP 2015523491 A	13-08-2015
		KR 20150027084 A	11-03-2015
		US 2015143828 A1	28-05-2015
		US 2018306068 A1	25-10-2018
		WO 2013171333 A2	21-11-2013
DE 102020110560 A1	21-10-2021	KEINE	

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 B1 [0007]
- DE 102007041457 A1 [0007]
- WO 002007115769 A2 [0007]
- DE 3420293 A1 [0009]
- US 20120112473 A1 [0009]
- GB 280926 A [0009]